

-UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des Sciences Appliquées

Département de Génie Mécanique



Mémoire

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences Techniques

Filière : Génie mécanique

Spécialité : Fabrication Mécanique et Productique

Présenté par :

BOUAICHE Zakaria

CHACHA Salah Eddine

Thème

**Etude d'un bac de jaugeage avec
renforcement interne destiné au stockage des
hydrocarbures**

Soutenue le : 17/06/2021

Devant le jury :

BELLOUFI Abderrahim	Pr	Université Kasdi Merbah Ouargla	Président
MOURAD Abdelkarim	MCA	Université Kasdi Merbah Ouargla	Encadreur
CHIBA Elhocine	MPA	Université Kasdi Merbah Ouargla	Co-Encadreur
BENNOUNA Mohamed Salah	MCA	Université Kasdi Merbah Ouargla	Examineur

Année universitaire 2020/2021

Remerciements

Nous remercions tout d'abord Dieu de nous avoir donné le courage et la force pour finaliser ce travail.

Nous tenons à remercier notre encadreur le docteur Mourad Abdelkarim et notre co-encadreur Mr Chiba El Hocine d'avoir accepté de prendre en charge notre encadrement, nous le remercions vivement pour ses conseils, sa patience et sa disponibilité.

Nos remerciements s'adressent aussi aux membres de jury d'avoir accepté de lire et d'évaluer ce travail.

Toute notre gratitude et nos respects à tous nos enseignants.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail
À la mémoire de mon défunt grand-
père,
À mes chers parents et mes chers
frères,
À toute ma famille,
À mon co-encadreur Chiba El
Hocine,
À mes amis proches Younes Beneddine
et Nouh Zaabat.

Zakaria Bouaiche

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

*À la mémoire de mon défunt grand-
père,*

*À mes chers parents et mes chers
frères,*

À toute ma famille,

À Mes amis.

Salah Eddine

SOMMAIRE

Introduction générale	
Chapitre I : Etude bibliographique sur les réservoirs de stockage des hydrocarbures	
<i>I.1 Introduction</i>	1
<i>I.2 Le bac de stockage</i>	1
<i>I.2.1 Définition</i>	1
<i>I.2.2 Objectifs des réservoirs de stockage des hydrocarbures</i>	1
<i>I.2.3 Les différents types de réservoirs</i>	1
<i>I.2.3.1 Réservoirs à toit flottant</i>	1
<i>I.2.3.2 Réservoirs sous pression</i>	3
<i>I.2.3.2.1 Les sphères</i>	3
<i>I.2.3.2.2 Les réservoirs horizontaux</i>	4
<i>I.2.3.2.3 Réservoirs atmosphériques</i>	4
<i>I.3 Distinction entre les différents réservoirs</i>	5
<i>I.4 Lieux de stockage</i>	5
<i>I.5 Modes de stockage</i>	6
<i>I.6 Configuration des réservoirs de stockage</i>	6
<i>I.6.1 Réservoirs cylindriques verticaux</i>	6
<i>I.6.2 Réservoirs cylindriques horizontaux</i>	7
<i>I.6.3 Réservoirs sphériques</i>	8
<i>I.6.4 Réservoirs sphéroïdaux</i>	9
<i>I.7 Equipement et accessoires des bacs</i>	9
<i>I.7.1 Equipements des bacs</i>	9
<i>I.7.2 Accessoires des bacs</i>	10
<i>I.7.2.1 Accessoires d'accès</i>	10
<i>I.7.2.2 Accessoires de contrôle</i>	10
<i>I.7.2.3 Accessoires de lutte contre la surpression</i>	11
<i>I.7.2.4 Accessoires de sécurité</i>	11
<i>I.7.2.5 Accessoires de protection contre la corrosion</i>	12

<i>I.8 Equipements et accessoires des sphères</i>	13
<i>I.9 Rôle du stockage</i>	13
<i>I.10 Conclusion</i>	14

Chapitre II : Etude d'un bac de jaugeage

<i>II.1 Introduction</i>	17
<i>II.2 Le bac de jaugeage</i>	17
<i>II.2.1. Polyvalence à un ou deux compartiments</i>	18
<i>II.2.2. Applications</i>	18
<i>II.2.3. Caractéristiques</i>	18
<i>II.2.4. Avantages</i>	18
<i>II.2.5. Fonctions principales des réservoirs de jaugeage</i>	19
<i>II.2.6. Qu'est ce que le (f) et le CMF</i>	19
<i>II.2.7. Sélection du réservoir de jauge</i>	20
<i>II.2.8. Sécurité du réservoir de jauge</i>	21
<i>II.2. 9. Jaugeage du niveau /volume</i>	21
<i>II.2 .10. Précision de la mesure</i>	21
<i>II.2.11. Les exigences d'un bac de jaugeage</i>	22
<i>II.2. 12. Dimensionnement d'un réservoir de jaugeage</i>	22
<i>II.12.1. Définition des hypothèses</i>	22
<i>II.12.2. Choix de matériaux</i>	23
<i>II.12.3. Définition des codes de calcul</i>	24
<i>II.12.4. Calcul des épaisseurs des viroles</i>	24
<i>II.12.5. Calcul de l'épaisseur de la bordure annulaire</i>	24
<i>II.12.6. Calcul de la charpente du toit</i>	24
<i>II.12.7. Vérification Au Séisme</i>	24
<i>II.12.8. Vérification Au vent</i>	24
<i>II.12.9. Calcul des événements ou des soupapes de sécurité</i>	25
<i>II.12.10. Calcul des réchauffeurs de masse</i>	25
<i>II.12.11. Calcule le circuit de la mousse et de l'eau des réservoirs</i>	25
<i>II.12.12. Calcul de la cuvette de rétention</i>	25
<i>II.13. Techniques de jaugeage de réservoir</i>	25

II.13.1. <i>Mesure manuelle</i>	25
II.13.2. <i>Jauges à flotteur et à ruban</i>	26
II.13.3. <i>Jauges servo</i>	26
II.13.4. <i>Jauges radar</i>	26
II.13.5 <i>Jaugeage hydrostatique du réservoir</i>	27
II.13.6. <i>Inventaire hybride</i>	27
II.3. <i>Test de puits</i>	27
II.3.1. <i>Manomètre</i>	27
II.3.2. <i>Pression de surface</i>	28
II.3.3. <i>Tests de puits de pompage</i>	28
II.3.4. <i>Graphique de pression DST</i>	28
II.4. <i>Soudage et autres procédures de construction de réservoirs de jaugeage</i>	28
II.4.1. <i>Exigences générales pour le soudage</i>	28
II.1.1. <i>Les procédés de soudage à l'arc</i>	28
II.4.2. <i>L'ordre de construction de réservoir de jaugeage</i>	29
II.5 <i>Conclusion</i>	30

Chapitre III : Résultats et Discussions

III.1 <i>Introduction</i>	33
III.2 <i>Présentation de l'entreprise</i>	33
III.3 <i>Fiche technique de bac</i>	33
III.4 <i>Etude de cas</i>	34
III.5 <i>Présentation des logiciels</i>	34
III.6 <i>Création d'un model sous COMSOL Multiphysic</i>	36
III.7 <i>Etude de bac de jaugeage avec et sans renforcement sur logiciel de comsol</i>	36
III.8 <i>Résultats de simulation pour les deux types de bac</i>	39
III.9 <i>Etude de bac de jaugeage général avec skidsur logiciel de comsol</i>	41
III.10 <i>Résultats de simulation pour le skid</i>	42
III.11 <i>Discutions des résultats obtenus par la simulation</i>	43
III.12 <i>Conclusion</i>	46

Liste des figures

Figure	Titre	Page
Chapitre I : Etude bibliographique		
Figure I.1	<i>Réservoirs à toit flottant</i>	2
Figure I.2	<i>Toit à flotteur unique</i>	2
Figure I.3	<i>Toit à double flotteur</i>	3
Figure I.4	<i>Réservoir sphérique</i>	3
Figure I.5	<i>Réservoirs horizontaux</i>	4
Figure I.6	<i>Réservoir atmosphérique</i>	5
Figure I.7	<i>Modes de stockage</i>	6
Figure I.8	<i>Bacs de stockage cylindriques verticaux</i>	7
Figure I.9	<i>Bac de stockage cylindrique horizontal</i>	8
Figure I.10	<i>Bacs de stockage sphériques ou sphères</i>	8
Figure I.11	<i>Types d'équipements de la structure des bacs</i>	9
Figure I.12	<i>Accessoires d'accès des bacs</i>	10
Figure I.13	<i>Accessoires de contrôle des bacs</i>	11
Figure I.14	<i>Accessoires de sécurité de lutte contre l'incendie</i>	12
Figure I.15	<i>La protection des bacs contre la corrosion</i>	13
Chapitre II : Etude d'un bac de jaugeage		
Figure II.1	<i>Bac de jaugeage</i>	17
Figure II.2	<i>Mesure manuelle</i>	26
Figure II.3	<i>Jauges servo</i>	26
Figure II.4	<i>Jauge de niveau radar pour la mesure de l'espace libre</i>	27
Chapitre III : Résultats et Discussions		
Figure III.1	<i>Bac de jaugeage.</i>	34
Figure III.2	<i>L'interface du logiciel (SOLIDWORKS)</i>	35
Figure III.3	<i>Logo de Logiciel COMSOL</i>	35
Figure III.4	<i>Bac de jaugeage (A) avec renforcement interne et (B) sans renforcement</i>	36
Figure III.5	<i>Les différents paramètres physiques (comment les choisir)</i>	37
Figure III.6	<i>Espace de travail de comsol Multiphysique</i>	37
Figure III.7	<i>Maillage des différents bac (avec et sans renforcement)</i>	38

Figure III.8	<i>Représentation des résultats de simulation appliquée des forces normales sur les deux types de renforcement de bac (A) avec renforcement et (B) sans renforcement</i>	39
Figure III.9	<i>Représentation des résultats de simulation pour des forces et des moments appliqués sur les deux types de renforcement de bac (A) avec renforcement et (B) sans renforcement</i>	40
Figure III.10	<i>Maximum force appliquée sur le bac (A) avec renforcement et (B) sans renforcement interne</i>	40
Figure III.11	<i>Skid de bac de jaugeage</i>	41
Figure III.12	<i>Maillage skid de bac de jaugeage</i>	42
Figure III.13	<i>Représentation des résultats de simulation des forces normales appliquées sur le skid</i>	42
Figure III.14	<i>Représentation des résultats de simulation pour des forces et des moments appliqués sur le skid</i>	43
Figure III.15	<i>Maximum force appliquée sur le skid</i>	43
Figure III.16	<i>Etude de déplacement (déformation) en fonction de la ligne de coupe 01 sur bac avec renforcement interne</i>	44
Figure III.17	<i>Etude de déplacement(déformation) en fonction de la ligne de coupe 01 sur bac sans renforcement interne</i>	44
Figure III.18	<i>Etude de déplacement (déformation) en fonction de la ligne de coupe 02 sur bac avec renforcement interne</i>	45
Figure III.19	<i>Etude de déplacement (déformation) en fonction de la ligne de coupe 02 sur bac sans renforcement interne</i>	45
Figure III.20	<i>Etude de déplacement (déformation) en fonction de la ligne de coupe 02 sur le skid (Application des forces et des moments).</i>	46

Liste des tableaux

Tableaux	Titre	Page
	<i>Chapitre III : Résultats et Discussions</i>	
<i>Tableau III.1</i>	<i>Caractéristiques de bac .</i>	33
<i>Tableau III.2</i>	<i>Les caractéristiques générales de bac.</i>	37

Introduction Générale

Introduction générale

Le stockage et la mesure des hydrocarbures restent parmi les préoccupations extrêmes relatives au domaine pétrolier. Assurer donc un endroit approprié pour stocker le pétrole et le gaz, et aussi pouvoir les mesurer en toute exactitude sont pris en charge par des bacs fabriqués spécialement pour ces deux fonctions : stocker et mesurer.

Notre mémoire de master intitulé *Etude d'un bac de jaugeage avec renforcement interne destiné au stockage des hydrocarbures* est une initiation à la recherche. Il s'inscrit dans le domaine de la fabrication mécanique, notre problématique serait donc d'étudier l'aspect spécifique des bacs de jaugeage, les endroits de fatigue des bacs avec et sans un renforcement interne, et comment résoudre ce problème avec l'utilisation du skid.

Notre travail sera divisé en trois grands chapitres, qui seront à leur tour subdivisés en sections.

Le premier chapitre intitulé *Etude bibliographique* sera le cadre conceptuel de notre recherche, nous en parlerons du stockage du pétrole et du gaz et nous y mettrons toutes les définitions et données théoriques nécessaires pour notre étude ainsi que des informations sur les réservoirs de stockage des hydrocarbures, leurs types et leurs configurations, le mode et le lieu de stockage ainsi que les équipements et les accessoires de ces réservoirs.

Quant au deuxième chapitre *Etude de bac de jaugeage*, il sera réservé à la description des bacs de jaugeage, leurs caractéristiques, leur construction et leur importance dans le domaine pétrolier.

En ce qui concerne le troisième et dernier chapitre intitulé *Bac de jaugeage avec renforcement interne*, il constituera le côté pratique de notre travail. Il sera consacré à notre stage de terrain et aussi à décrire la visite de terrain que nous avons effectué à une entreprise dans la ville de Hassi Messaoud. Cette description présentera cette entreprise (nom, adresse, emploi, caractéristiques, dimension et construction de bac). Puis viendra la deuxième partie où étudierons une simulation numérique de différents bacs de jaugeage à l'aide des logiciels SolidWorks et COMSOL Multiphysics. Et ceci afin de déterminer les contraintes maximales et les déformations dans des différents types de renforcement interne du bac.

Notre travail se clôturera comme tout travail de recherche, par une conclusion qui en constituera une synthèse. Elle devrait comporter un rappel de tous les points et étapes de notre travail et les résultats que nous obtiendrons par la suite.

Chapitre I

Etude bibliographique

sur les réservoirs de

stockage des hydrocarbures

I .1 Introduction

Le stockage du pétrole et du gaz consiste à immobiliser temporairement certains volumes de pétrole ou de gaz dans des capacités de stockage appelés appareils à pression ou réservoir selon, que le produit stocké, est ou n'est pas, sous pression. [1]

Dans ce chapitre nous présentons des généralités sur les bacs de stockage, des définitions et des informations : sur les types de réservoirs et leurs configurations, le mode et le lieu de stockage ainsi quels équipements et les accessoires des réservoirs de stockage des hydrocarbures.

I .2 Le bac de stockage

I .2.1 Définition

Un bac est un réservoir cylindrique et vertical destiné au stockage des hydrocarbures liquides.[4]

I .2.2 Objectifs des réservoirs de stockage des hydrocarbures

Dans l'industrie des champs de pétrole et de gaz, le stockage massif des liquides, pour les différents produits rencontrés dans l'industrie du pétrole, de la pétrochimie et de la chimie, s'effectue principalement dans les réservoirs métalliques, de construction soudée, installés à l'air libre. Il a pour but de [8] :

- La mise du produit au repos suivi d'une opération de décantation avant l'expédition (élimination de l'eau et résidus) et l'élimination naturelle des gaz indésirables.
- Le contrôle de la qualité de produit à expédier.
- Le traitement préalable du brut afin de minimiser les problèmes d'incendie ou de corrosions des bacs et des canalisations car ces installations sont très coûteuses.
- La continuité de la production et de l'exploitation tout en assurant un stockage permanent.

I .2.3 Les différents types de réservoirs

I .2.3.1 Réservoirs à toit flottant

Ils sont utilisés pour le stockage des produits volatils (pétrole brut, condensat, carburants auto...etc.) ils ressemblent au réservoir à toit fixe sauf dans la conception du toit. Le toit dans

ce cas repose directement sur le liquide et flotte au-dessus de cela grâce à des double fonds constituant des poches d'air indépendantes réduisant ainsi le poids spécifique de l'ensemble du toit par rapport à celui du liquide. La circonférence du toit est rendue étanche par des bandes en caoutchouc glissant sur la paroi interne de la robe du réservoir, ce qui réduit les pertes par évaporation du produit. Ce dispositif étanchéité permis par ailleurs le déplacement du toit. Lorsque le toit repose sur le fond du réservoir, il repose sur des supports spéciaux (béquilles).[2]



Figure1 : Réservoirs à toit flottant [2]

Le toit flottant peut être de deux types :

- à flotteur unique
- à double flotteur

a) Toit à flotteur unique (simple ponton) :

Il est constitué d'une surface centrale de plaques avec une couronne circulaire soudée sur sa périphérie composée de caissons étanches flottants (voir figure2). [2]

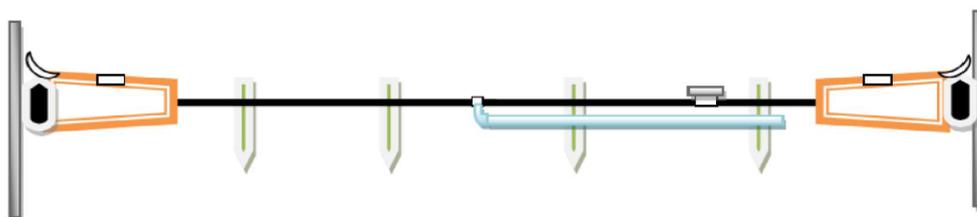


Figure 2 : Toit à flotteur unique [2]

b) Toit à double flotteur (double ponton) :

Il est constitué de deux surfaces de tôles circulaires, l'une recouvre l'autre. Elles sont séparées l'une de l'autre par des cloisons ou des charpentes de façon à créer un matelas d'air entre le produit stocké et l'atmosphère.[2]

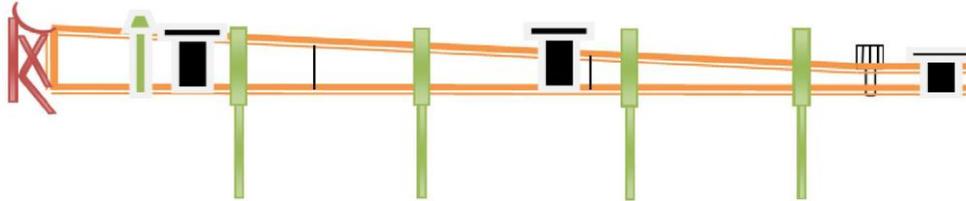


Figure 3 : Toit à double flotteur [2]

I .2.3.2 Réservoirs sous pression**I.2.3.2.1 Les sphères**

Dans ce type de réservoir, et en ce qui concerne les raffineries, ils sont stockés sous pression des produits sous phase liquide tels que le propane, le butane, ... Leur rayon est compris entre 5 et 10 m, pour un volume de 500 à 4500 m³. La masse stockée varie selon la densité de la phase de liquide du produit stocké. Pour une sphère de 1000 m³, la masse varie de 400 t (propane) à 700 t (oxyde d'éthylène). L'épaisseur de la paroi est toujours supérieure à 10 mm. Ce réservoir doit résister à des pressions internes de 8-9 bars pour le butane et jusqu'à 25 bars pour le propane.[2]



Figure 4 : Réservoir sphérique [2]

I.2.3.2 Les réservoirs horizontaux

Ce type de réservoirs cylindriques est susceptible de stocker les mêmes produits que les sphères dont il vient d'être question. La majorité de ces réservoirs présente un diamètre de 1,5 m à 3 m, pour une longueur d'une dizaine de mètres, ce qui correspond à un volume compris entre 100 à 2000 m³. Les plus longs réservoirs peuvent mesurer quelques dizaines de mètres. Les réservoirs horizontaux sont, dans le cas général, posés sur des berceaux. Il est possible de rencontrer des cas où ils sont ceinturés sur les berceaux.[3]



Figure 5 : Réservoirs horizontaux [3]

I.2.3.2.3 Réservoirs atmosphériques

Les réservoirs atmosphériques représentent la très grande majorité du parc de réservoirs de grande capacité contenant des liquides inflammables. Ils présentent classiquement un grand diamètre et donc par conséquent un élanement faible. Ils sont constitués d'une unique enveloppe ou d'une double enveloppe métallique. Ces réservoirs sont le plus souvent:[3]

-Métalliques : leurs fonds, leurs robes et leurs toits sont en acier.

-Verticaux : leur axe de symétrie est vertical.

L'avance de l'outil en direction de la pièce est exprimée en unités de distance par unité de temps. On parle également ici d'avance de table.



Figure 6 : Réservoir atmosphérique[3]

I.3 Distinction entre les différents réservoirs

Les différents types de réservoirs se distinguent par :

- Le type et le nombre de viroles dont ils sont constitués ;
- La présence ou non de raidisseurs ;
- Leurs fondations :
 - un radier ou une semelle annulaire ;
 - sur pieux ou puits ;
 - réservoir simplement posé ou ancré ;
- Leur toit, flottant ou fixe :
 - à toit flottant : essence légère, naphta...
 - à toit fixe : solvant léger, fluxant. Ce toit fixe peut être supporté par la robe ou, parfois, par la robe et quelques piliers dévolus à cet effet.[3]

I.4 Lieux de stockage

Les hydrocarbures sont stockés dans des réservoirs qui se retrouvent dans : [1]

- Les terminaux maritimes
- Les raffineries
- Les champs de production de bruts
- Les lieux de consommation

I.5 Modes de stockage

- Aérien ou atmosphérique
- Semi-enterré
- Totalemment enterré



Figure7 : Modes de stockage [1]

I.6 Configuration des réservoirs de stockage

Pour répondre à la grande variété des produits liquides industriels à stocker, les constructeurs ont recours à des réservoirs de formes diverses et de conceptions différentes, étudiés pour s'adapter le plus rationnellement et le plus économiquement possible aux caractéristiques du produit à traiter.

La configuration d'un réservoir dépend de deux impératifs essentiels qui sont :

- La conservation du produit en limitant ou en interdisant les évaporations.
- La tenue de la structure à la pression interne développée par le produit ou maintenue à un certain niveau pour faciliter l'exploitation.

La forme cylindrique est la plus courante en raison de sa simplicité de mise en œuvre et de sa bonne résistance à la pression interne. Lorsque la pression interne est importante, on a recours à des formes sphériques mieux adaptées que les cylindres et qui permettent de réduire les épaisseurs de paroi. [5]

I.6.1. Réservoirs cylindriques verticaux

Appelés communément réservoirs, ils reposent directement sur le sol ou sur une fondation par l'intermédiaire d'un fond plat. Ils sont habituellement équipés soit d'un toit fixe conique ou sphérique, soit d'un toit flottant qui repose sur le liquide et coulisse dans le piston formé par la robe du réservoir. Lorsque ces réservoirs doivent supporter une légère pression, leur toit est généralement de forme sphérique et leur fond en périphérie peut être ancré sur une fondation circulaire en béton. Pour éviter ces ancrages et la fondation qu'ils impliquent, le fond plat peut être remplacé par un fond sphérique concave qui équilibre les effets de la pression sur le toit.[5]

Les réservoirs cylindriques verticaux sont plus utilisés dans les cas où une consommation plus élevée et des stocks opérationnels plus importants sont utilisés. Ces derniers supportent des fluides de plus grande densité, et par conséquent, un poids spécifique plus important.



Figure 8 : Bacs de stockage cylindriques verticaux.[1]

I.6.2 Réservoirs cylindriques horizontaux

Souvent désignés par ballons, ils sont installés au-dessus du sol sur des berceaux supports. Leurs extrémités sont terminées par des fonds emboutis hémisphériques, Tori sphériques ou elliptiques. Ces récipients sont destinés aux stockages sous forte pression, mais leur emploi est limité en général à de faibles capacités. Cependant, depuis 1975, l'utilisation de réservoirs cylindriques horizontaux de grande capacité s'est développée en Europe pour répondre essentiellement à des problèmes de sécurité vis-à-vis de l'environnement. Ces réservoirs reposent le plus souvent directement sur le sol, sans fondation spéciale et sans berceau. Après construction, ils sont entièrement enfouis sous une couche de terre de l'ordre du mètre qui constitue une protection autour de l'ouvrage en cas d'incendie ou d'explosion à proximité.[5]

Les réservoirs horizontaux sont principalement utilisés dans les cas où la consommation de fluide est faible et où le poids spécifique du fluide en question est faible.



Figure 9: Bac de stockage cylindrique horizontale.[1]

I.6.3 Réservoirs sphériques

Appelés aussi sphères, ils sont généralement supportés par des poteaux disposés au niveau de l'équateur ou, quelquefois, par une jupe métallique ou un massif de béton placé sous l'hémisphère inférieur. Ces ouvrages sont parfaitement adaptés aux stockages sous forte pression et permettent la réalisation économique de grandes capacités.[10]

Les réservoirs sphériques résistent à des pressions extrêmes et sont principalement utilisés pour le stockage de GPL ou de GN sous haute pression.

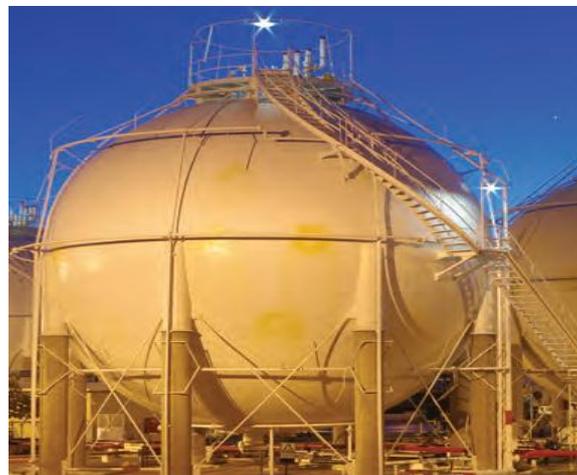


Figure 10: Bacs de stockage sphériques ou sphères.[11]

I.6.4 Réservoirs sphéroïdaux

Ils sont le plus souvent appelés sphéroïdes. Pour certains produits sous pression moyenne, on peut recourir à des formes sphéroïdales dont la partie inférieure repose directement sur le sol préalablement préparé pour épouser la forme du réservoir. Cette formule de stockage n'est cependant pratiquement plus employée en raison du faible intérêt économique qu'elle présente.[10]

I.7 Equipement et accessoires des bacs

I.7.1 Equipements des bacs

Les équipements des bacs sont :

- □ La robe : c'est une paroi verticale constituée de tôles cintrées au diamètre du réservoir.
- □ La virole : c'est un anneau constitué de tôles dont la succession donne la robe.
- □ La cuvette : c'est un compartiment construit autour d'un bac ou d'un ensemble de bacs destiné à recevoir le contenu du bac ou de l'ensemble de bacs en cas de fuite accidentelle.
- □ Le fond : c'est la base du réservoir, il est fait également d'un ensemble de tôles.
- □ L'assise : c'est la fondation sur laquelle repose le réservoir.
- □ Le toit : c'est la partie supérieure du réservoir, il est fait d'un assemblage de tôles il peut être fixe ou flottant.

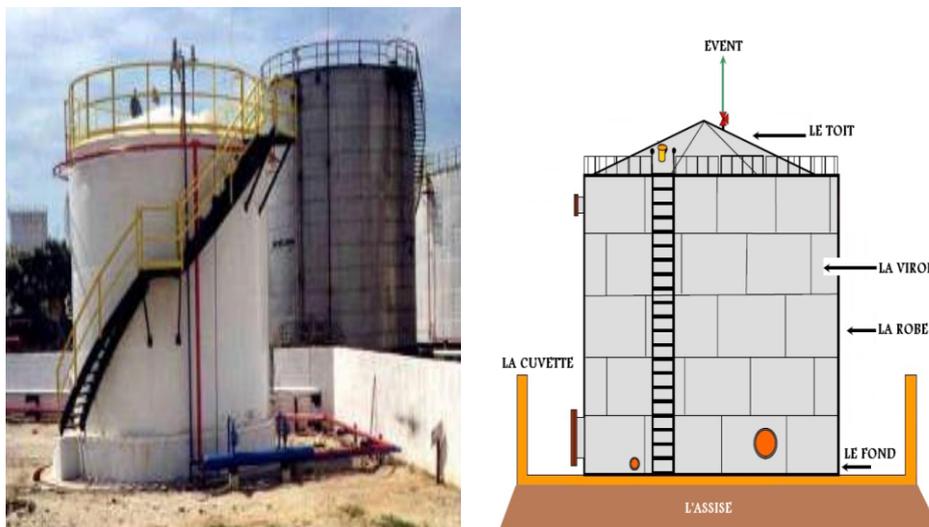


Figure 11 : Types d'équipements de la structure des bacs.[4]

I.7.2 Accessoires des bacs

I.7.2.1 Accessoires d'accès

- **Les escaliers** : de forme hélicoïdale ou verticale, destinés aux opérations de vérification, de contrôle, de réparation et de nettoyage.[7]

- **L'échelle basculante** : celle-ci change de position lorsqu'un toit se déplace pour un toit flottant.[7]
- **Les trous d'homme** : ceux-ci permettent l'accès à l'intérieur du réservoir des agents d'entretien, de nettoyage et de réparation. Il existe deux types d'accès :[7]
 - Accès au réservoir à partir du toit.
 - Accès à partir de la robe du réservoir.

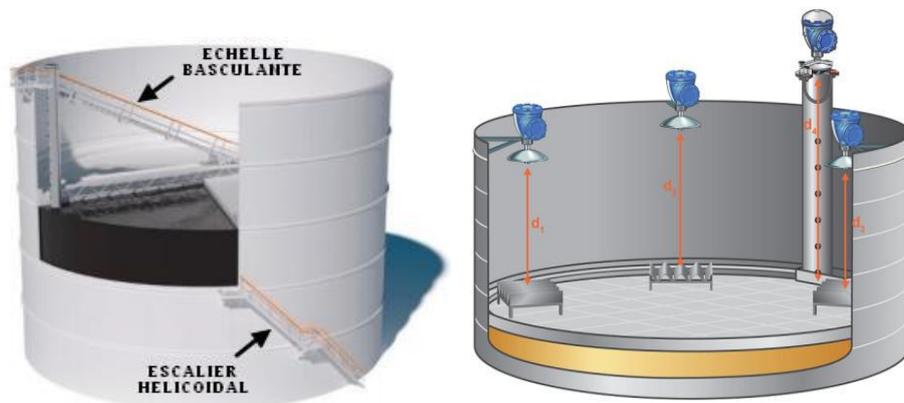


Figure 12 : Accessoires d'accès des bacs [4]

I.7.2.2 Accessoires de contrôle

- **Le manomètre** : Le manomètre d'indication de pression permet de contrôler la pression à l'intérieur du bac pour maintenir la pression d'épreuve constante.[7]
- **Le dispositif de prise d'échantillon** : Celui-ci sert à prendre des échantillons, à mesurer les qualités du produit et relever la température.[7]
- **Le dispositif de purge** : Il sert à évacuer les impuretés qui se trouvent mélangées avec le produit au fond du réservoir. Le liquide drainé sera acheminé dans les réseaux d'huiles, puis vers un séparateur.[7]
- **L'indicateur de niveau** : Celui-ci permet de relever le niveau du liquide dans le réservoir et au comptage du volume du produit au remplissage et ou à la vidange de celui-ci.

La détermination du niveau du produit dans le réservoir se fait avec les indicateurs de niveau à flotteur qui suit le niveau du liquide. Dans le cas où il n'y aurait pas de flotteur, on détermine le niveau du produit à l'aide d'une jauge manuelle.[7]

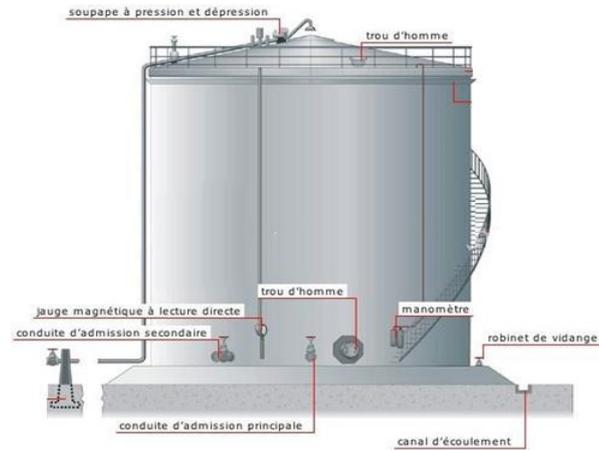


Figure13: Accessoires de contrôle des bacs.[4]

I.7.2.3 Accessoires de lutte contre la surpression

- **Les évents** : ce sont des ouvertures permanentes situées dans la partie supérieure du réservoir destinées à évacuer l'excédent de vapeurs d'hydrocarbures par temps chauds.[7]
- **Les soupapes** : ce sont des dispositifs automatiques qui laissent s'échapper l'excédent de vapeur une fois la pression de la phase gazeuse à l'intérieur du réservoir atteint une valeur limite ou critique. Cette pression est appelée pression de tarage.[7]

I.7.2.4 Accessoires de sécurité

- **Les vannes de sécurité** : Elles sont destinées à protéger le réservoir contre les surpressions et les dépressions. Elles sont au nombre de deux (02). La vanne de sécurité pour la zone annulaire se trouve entre toit (flottant) et la robe et la vanne de décharge automatique.[7]
- **Les dispositifs d'alarme NH et NB** : Ceux-ci émettent un signal sonore dès que le produit atteint son niveau haut (NH) et son niveau bas (NB).[7]
- **La cuvette de rétention** : Elle est destinée à recevoir le 75% du contenu du réservoir en cas des fuites. Les cuvettes qui contiennent plusieurs réservoirs, doivent être divisées en compartiments dont le nombre est déterminé en fonction de la capacité totale des réservoirs.[7]
- **Le réseau d'incendie** : Celui-ci est équipé par des conduites d'eau et de mousse refoulée sous pression par un système de pompes.[7]

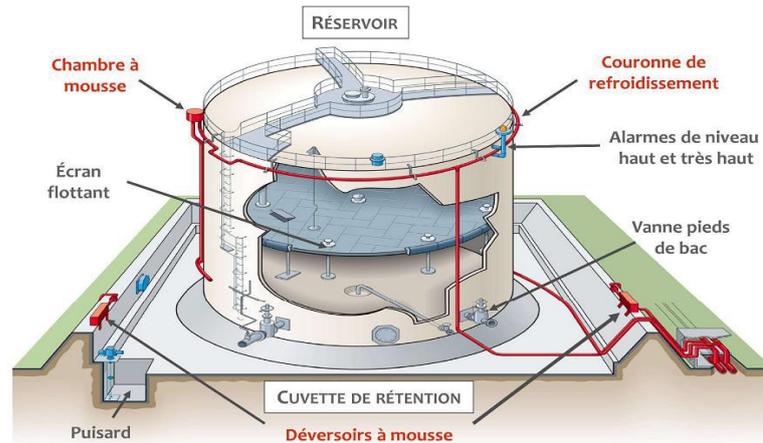


Figure 14 : Accessoires de sécurité de lutte contre l'incendie [4]

I.7.2.5 Accessoires de protection contre la corrosion

- La protection passive du réservoir se fait par application d'une couche de peinture accompagnée d'une protection cathodique par anode.[8][9]
- La protection extérieure du réservoir est obtenue par soutirage du courant.[8][9]
- La surface intérieure du fond du réservoir n'est pas protégée par cathode, mais on prévoit une couche de résine époxy contre la corrosion interne due à la composition chimique du produit stocké telle que la teneur en sels et sulfures. [8][9]

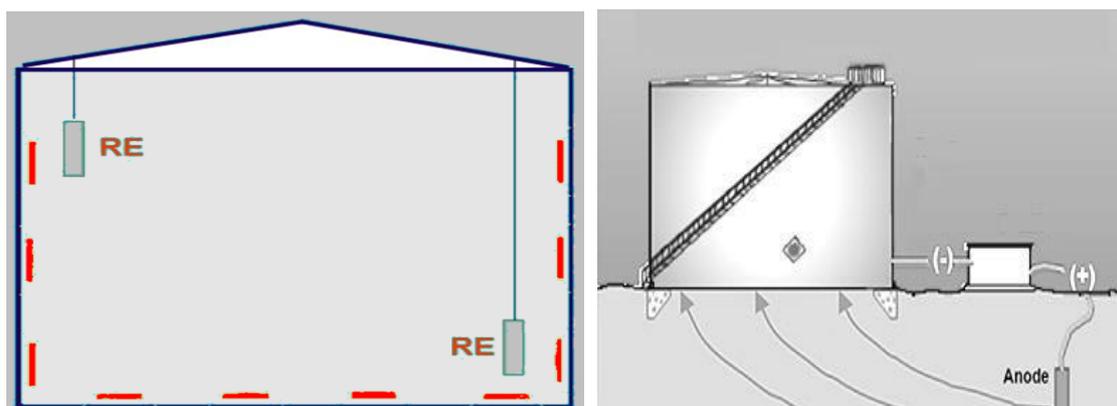


Figure 15 : la protection des bacs contre la corrosion.[8]

I.8 Equipements et accessoires des sphères

Ce sont des capacités sphériques destinées au stockage du GPL et particulièrement du butane.[6]

□□ **Equipement d'accès** : escaliers, gardes de corps et échèles.

□□ **Equipements de visite** : trous d'homme.

□□ **Equipement de mesure de niveau de produit** : télé jauge (sphères équipées de téléjauges).

□□ **Equipement de sécurité** : les soupapes, les couronnes d'eau et de mousse, les paratonnerres.

I.9 Rôle du stockage

Le stockage des ressources énergétiques est non seulement nécessaire pour compenser les fluctuations d'approvisionnement dues à toutes sortes d'aléas lors de la production, du transport et du raffinage, ou les variations de la consommation, qui dépendent notamment des conditions météorologiques. Il est aussi stratégique pour assurer un minimum d'autonomie énergétique du pays consommateur. Le stockage doit être assuré aux différentes étapes du cheminement du pétrole, depuis le puits de production jusqu'aux lieux de consommation. Les dépôts pétroliers importants se trouvent essentiellement sur les lieux de production du pétrole brut, aux extrémités des oléoducs, dans les terminaux de chargement et de déchargement du pétrole, à proximité des raffineries. Ces stockages concernent le pétrole brut, les charges, les coupes intermédiaires et les produits finis avant expédition.[6]

I.10 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons donc présentée stockage du pétrole et du gaz ainsi que certaines définitions et informations des réservoirs de stockage des hydrocarbures.

Nous avons également étudié les types de réservoirs et leurs configurations, le mode et le lieu de stockage ainsi que les équipements et les accessoires des réservoirs de stockage des hydrocarbures.

Dans le chapitre suivant, nous allons étudier les bacs de jaugeage, leurs caractéristiques, leur construction et leur importance dans le domaine pétrolier.

Chapitre II

Etude D'un Bac De Jaugeage

II.1 Introduction

Le réservoir de jauge, un récipient non pressurisé, est utilisé pour mesurer les faibles débits ou pour calibrer les dispositifs de mesure sur les conduites d'huile du séparateur dans un système d'essai. Lorsque le débit est trop faible pour conduire efficacement l'huile vers les brûleurs, les réservoirs peuvent également être utilisés pour stocker temporairement l'huile.[21]

Ces unités montées sur skid ont deux compartiments : comme une pompe de transfert vide un compartiment, l'autre est en cours de remplissage. Un niveau de regard intégré dans chaque réservoir est utilisé pour calculer le changement de volume en fonction des dimensions physiques du réservoir.[21]

Dans ce chapitre nous présentons une étude de bac de jaugeage. Des définitions et des informations, applications, caractéristiques ainsi que les étapes de construction d'un réservoir de jaugeage.

II.2 Le bac de jaugeage

Un petit réservoir avec des marquages de volume précis utilisés pour mesurer le débit entrant ou sortant d'un puits. Les traitements qui nécessitent un suivi précis du volume des fluides, tels que la cimentation par compression, utilisent généralement un réservoir de jauge pour mesurer les volumes de fluide.[14]



Figure 1 : bac de jaugeage [15]

II.2.1. Polyvalence à un ou deux compartiments

Les réservoirs de jauge montés sur patins ont un ou deux compartiments ; dans ce dernier cas, lorsqu'une pompe de transfert vide un compartiment, l'autre est en cours de remplissage. Le niveau du voyant intégré est utilisé pour calculer le changement de volume en fonction des dimensions physiques du réservoir.

Les dispositifs de sécurité comprennent des pare-flammes sur chaque événement du réservoir, une sangle de mise à la terre pour empêcher l'accumulation de charge statique et un toit de cisaillement qui s'ouvre à une pression d'éclatement de 0,5 psi en cas de surpression accidentelle du navire.

Bien que le réservoir de jauge atmosphérique soit souvent un équipement standard pour les tests de puits, il ne peut pas être utilisé lorsque du H₂S est présent dans l'effluent car le gaz libéré du réservoir est évacué dans l'atmosphère, ce qui constituerait un danger pour le personnel.[14]

II.2.2. Applications

Les applications de bac de jaugeage sont : [15]

- Étalonage des débits d'huile liquide à partir d'un séparateur.
- Mesure d'un grand volume d'huile à pression atmosphérique.
- Mesure de faibles débits de liquide à partir d'un séparateur.
- Détermination du facteur de retrait.

II.2.3. Caractéristiques

Les caractéristiques de bac de jaugeage sont : [15]

- Arrête-flammes sur les deux événements du réservoir de jauge.
- Une sangle de mise à la terre est attachée à chaque réservoir de jauge pour empêcher l'accumulation de charges électrostatiques.
- Niveau de verre léger sur chaque compartiment du réservoir.
- Point d'échantillonnage.
- Tuyau de débordement.

II.2.4. Avantages

Les avantages de réservoir de jaugeage sont : [15]

- Mesures de volume précises et fiables à faible débit

- Stockage temporaire de l'huile lorsque le débit est trop bas, conduire efficacement l'huile vers les brûleurs
- Grand prélèvement d'huile morte de volume
- Attraction niveau de verre sur chaque réservoir compartiment
- Pare-flammes sur chaque ligne d'évacuation de gaz
- Toit de cisaillement de surpression
- Sangle de mise à la terre
- L'échantillonnage des points et la pression et les ports de température

II.2.5. Fonctions principales des réservoirs de jaugeage

Les fonctions principales des bacs de jaugeage sont : [13]

- Stocker des liquides lorsque la pression est faible
- Stocker des liquides lorsque de grands échantillons sont nécessaires.
- Mesurer les liquides lorsque le débit est faible.
- Mesurer le facteur de comptage combiné (CMF).
- Etalonnage du compteur de liquide du séparateur f
- Utilisation comme séparateur de deuxième étage (réservoir tampon uniquement)

II.2.6. Qu'est ce que le (f) et le CMF

$$\mathbf{a) \text{ Facteur de mètre (f) = } \frac{\text{Lecture du réservoir (vrai)}}{\text{Relevé de compteur}}$$

Effectué avant l'essai de débit (atelier ou puits) à plusieurs débits, avec de l'eau ou du diesel, c'est le facteur de correction (erreur mécanique) du compteur de liquide du séparateur.[2]

- Lire le niveau initial de l'eau dans le réservoir.
- Déverser l'eau dans le réservoir (commencez à pomper l'eau) et prenez simultanément la lecture du compteur au niveau de la ligne d'écoulement de l'huile.
- Dévier le débit d'eau vers les brûleurs (arrêtez de pomper l'eau) après que 10 barils soient passés par le compteur. Sont passées par le compteur.
- Prendre le niveau final de l'eau.

b) Facteur de rétraction

C'est le changement de volume d'huile entre les conditions du séparateur et les conditions atmosphériques (pression et température) [13]

(La mesure du rétrécissement que l'on appelle également GOR2, c'est le volume de gaz restant dans le séparateur de sortie d'huile)

Remarque : Au moment de la lecture finale du réservoir, la température du réservoir est également enregistrée.

(Une correction pour la température (K) est appliquée afin de signaler les débits aux conditions standard : 14,73 psia @ 60 degF)

$$\text{c) Facteur de mètre combiné (CMF)} = \frac{\text{Lecture du réservoir (vrai)}}{\text{Relevé de compteur}}$$

C'est le facteur du compteur avec le facteur de rétraction et il est pris sur le site, pendant le test de débit à travers le séparateur [13]

- Lire le niveau initial d'huile dans le réservoir.
- Détourner le débit d'huile vers le réservoir et prendre simultanément la lecture du compteur au niveau de la conduite de débit d'huile.
- Renvoyer le débit d'huile vers les brûleurs après le passage de 10 barils dans le compteur
- Avant de prendre le niveau final d'huile dans le réservoir et la température, attendez que tout le gaz se soit échappé de l'huile (au moins 30 minutes).

II.2.7.Sélection du réservoir de jauge

La sélection est le suivant : [13]

- Aucun H2S.
- Réglementations de sécurité, sur terre et en mer.
- Pression atmosphérique.
- Deux compartiments (2 x 50 barils et 2 x 100 barils).
- Espace disponible.
- Raccords d'entrée et de sortie de l'effluent : 3" 602 weco-union.
- Des extensions de tuyaux en plastique pour les lignes d'évacuation de gaz sont nécessaires.

II.2.8.Sécurité du réservoir de jauge

Les mesures de sécurité sont les suivantes : [13]

- Arrêts de flamme sur chaque événement.
- Coutures de sécurité en cas de surpression accidentelle de la cuve. Surpression accidentelle.
- Sangles de mise à la terre pour éviter l'accumulation de charges statiques.
- Ne peut être utilisé en présence de H₂S car le gaz est libéré dans l'atmosphère. Gaz est libéré dans l'atmosphère.
- Le transporter lorsqu'il est vide
- Avant d'effectuer tout entretien à l'intérieur du réservoir, Il doit être nettoyé à la vapeur et dégazé.

II.2.9.Jaugeage du niveau /volume

L'évaluation du niveau/volume est la technique de jaugeage dominante car la plupart des transferts sont basés sur le volume. La vérification des lectures de la jauge par comparaison avec une immersion manuelle à l'aide d'un ruban calibré est habituelle, ou parfois obligatoire.[12]

II.2.10.Précision de la mesure

Avant d'aborder les techniques de jaugeage un mot sur la précision.

Un réservoir de stockage typique de 15 mètres de diamètre et de 15 mètres de hauteur peut contenir 10 millions de litres de produit. Chaque millimètre de profondeur de produit représente donc 670 litres. Si l'on applique une boucle de mesure de niveau avec une précision de +/- 0,5 % de l'échelle. L'incertitude sur la quantité résultante est de +/- 50 250 litres.

Les jauges de niveau de réservoir modernes ont une précision de mesure de +/- 0,5 %, c'est-à-dire une incertitude de +/- 670 litres. Il est clair que le jaugeage des réservoirs doit appliquer des techniques qui sont différentes de l'instrumentation de processus normale. [12]

II.2.11.Les exigences d'un bac de jaugeage

Un système de jaugeage de réservoir doit satisfaire les différents aspects d'une opération de stockage qui peuvent inclure :[12]

- le contrôle des stocks

- Le transfert de la garde
- Mouvements de produits
- le contrôle des pertes et la réconciliation.

Ces aspects ont leurs propres exigences en termes d'unités de mesure de mesure, du degré de précision et de fiabilité/disponibilité :

- Le contrôle des stocks est un outil de gestion important car il représente un actif important. Il peut être évalué en termes de volume et/ou de masse. Des informations fiables et répétables sont plus importantes que la précision absolue.

- Le transfert de garde utilise soit des unités de volume soit des unités de masse, la précision étant première importance. Le jaugeage des réservoirs se compare favorablement à l'alternative de la mesure du débit et même lorsque ces derniers sont un système de jaugeage de réservoir fournit une méthode de vérification idéale. De vérification.

- Les mouvements d'huile dans une usine ne n'exigent pas une très grande précision mais des mesures fiables et répétables sont importantes pour la sécurité des opérations et l'utilisation efficace de la capacité de stockage.

- Les pertes représentent un coût direct et celles qui correspondent à des fuites, des déversements et des émissions dans l'environnement peuvent être très coûteuses. Pour le contrôle des pertes et les rapprochements, des mesures précises sont essentielles.

II.2.12. Dimensionnement d'un réservoir de jaugeage

II.12.1. Définition des hypothèses

La définition des hypothèses de calcul passe par :

□ Géométrie du réservoir :

La description de la géométrie du réservoir se fait à partir du cahier des charges client ou à partir d'un besoin client bien exprimé qui contient un plan de détail du réservoir ou simplement à partir des données géométrique voulu.

□ Conditions du site :

Selon l'emplacement du réservoir, il y'a des normes de vent et de séisme relatif à chaque pays et à chaque région qui définissent la zone, la pression du vent et du séisme et la classe de l'ouvrage.

□ Conditions de service :

Les conditions de service en globe la densité du produit, la température, la pression, la dépression, la surpression qui émanent de l'exploitant final. [10]

II.12.2.Choix de matériaux

Le matériau utilisé est généralement imposé par l'utilisateur final. Dans tout cas la confirmation du choix ou la proposition d'un nouveau matériau est indispensable suivant les normes en vigueur : les codes de calcul des réservoirs atmosphériques API 650, CODAP ou les normes des matériaux EN10025 OU EN 10028.

Les conditions des tôles d'acier destinées à être utilisées pour la construction de réservoir répondants à la norme API650, sont :

Les choix des matériaux dépendant essentiellement des paramètres :

- Epaisseurs des tôles.
- Température théorique du métal.

Ils ne peuvent pas être utilisés que s'ils subissent avec succès les essais tels que :

1. L'analyse de vérification de la composition chimique.
2. Les essais de caractéristique mécaniques.

Tous les métiers destinés dans la construction du bac devront être examinées avant leur mise en œuvre afin de détecter autant que possible les défauts pouvant nuire à la sécurité du réservoir.[10]

II.12.3. Définition des codes de calcul

C'est une étape importante du dimensionnement, parfois l'exploitant ou le constructeur à ses préférences par rapport au choix de la norme de calcul, sinon l'application:[17]

- Choix du code de calcul du réservoir : CODAP, ASME, API.
- Choix de calcul des normes de séisme et du vent adéquates.
- Choix du code de calcul des événements et des oreilles de levage s'ils ne sont pas intégrés dans le code de calcul choisis.

- Trouver la réglementation adéquate pour l'installation des dépôts d'hydrocarbure.

II.12.4. Calcul des épaisseurs des viroles

Pour calculer les épaisseurs des viroles il faut définir le nombre des viroles, les limites admissibles des viroles, les hauteurs du liquide pour chaque virole et les épaisseurs des viroles.[17]

II.12.5. Calcul de l'épaisseur de la bordure annulaire

Deux informations sont calculées, L'épaisseur minimale et la Largeur de la bordure annulaire.[17]

II.12.6. Calcul de la charpente du toit

Dans cette partie nous calculons le rayon de courbure du toit, le nombre de chevron du toit et nous entamons la vérification des déformations et la vérification de la résistance du toit.[17]

II.12.7. Vérification Au Séisme

Après avoir choisi la norme adéquate nous procédons au calcul du poids, au calcul du coefficient sismique d'accélération, au calcul des moments de renversement, au calcul de l'effort séismique et à la vérification de la résistance au renversement.[17]

II.12.8. Vérification Au vent

Après avoir choisi la norme adéquate nous procédons au calcul de la vitesse maximale, au calcul du moment de renversement, au calcul de la stabilité au vent, au calcul de la pression de soulèvement et au calcul des raidisseurs intermédiaires le cas échéant.[17]

II.12.9. Calcul des événements ou des soupapes de sécurité

Ce calcul se fait vis-à-vis de la dépression et de la surpression.[17]

II.12.10. Calcul des réchauffeurs de masse

Le réchauffeur de masse est un serpentin qui est conçu pour apporter au fluide de stockage la puissance calorifique nécessaire pour compenser les déperditions et maintenir une température donnée.[17]

II.12.11. Calcule le circuit de la mousse et de l'eau des réservoirs

Pour assurer la protection contre le risque d'incendie du réservoir ou de l'ensemble dépôt d'hydrocarbureil faut dimensionner le circuit incendie et déterminer les équipements anti-incendie nécessaires à l'aide de dimensionnement hydraulique.[17]

II.12.12. Calcul de la cuvette de rétention

Pour une bonne implantation du réservoir, le calcul de la cuvette de rétention est nécessaire afin de limiter la propagation du feu, de drainer les fuites inattendues.[17]

II.13. Techniques de jaugeage de réservoir

Le jaugeage a une longue histoire ! Étant donné que chaque utilisateur et chaque application a ses propres exigences spécifiques, plusieurs techniques de mesure et solutions pour mesurer le contenu des réservoirs sont actuellement disponibles.[18]

II.13.1. Mesure manuelle

Le jaugeage des réservoirs a commencé par un jaugeage manuel (à l'aide d'un ruban à mesurer ou d'une jauge graduée). Cette technique est encore utilisée dans le monde entier et constitue encore aujourd'hui la vérification pour l'étalonnage et la vérification des performances de la jauge.



Figure 2 : Mesure manuelle [18]

II.13.2. Jauges à flotteur et à ruban

Ces instruments utilisent un grand flotteur lourd afin d'obtenir une force motrice suffisante.[18]

II.13.3. Jauges servo

Les jauges de réservoir servo sont une amélioration considérable par rapport aux instruments entraînés par flotteur.



Figure 3 : Jauges servo [18]

II.13.4. Jauges radar

L'utilisation du radar pour mesurer les niveaux de produits dans les réservoirs de stockage est l'une des techniques les plus récentes.



Figure 4 :Jauge de niveau radar pour la mesure de l'espace libre[18]

II.13.5 Jaugeage hydrostatique du réservoir

Le jaugeage hydrostatique de réservoir (HTG) est l'une des techniques les plus anciennes pour mesurer le contenu du réservoir. Dans l'industrie de process, la mesure de niveau à l'aide de transmetteurs de pression différentielle est très courante.[18]

II.13.6. Inventaire hybride

Système de mesure Système de mesure d'inventaire hybride(HIMS), combine les techniques de jaugeage de niveau les plus modernes avec le jaugeage hydrostatique de réservoir.[18]

II.3. Test de puits

Que votre puits soit un puits d'exploration ou de production ou que vous retourniez après fracturation, les tests de réservoir améliorent l'évaluation de votre réservoir pour confirmer la capacité de produire du pétrole et du gaz.[14]

II.3.1. Manomètre

Un appareil utilisé pour mesurer la pression. De nombreux types différents de manomètres ont été développés pour être utilisés dans les tests de puits au fil des ans. Pour les mesures de pression de fond, il s'agit notamment de jauges à tube de bourdon hélicoïdal, de jauges de contrainte, de jauges à cristal de quartz et de jauges de lecture de surface. Tous ont leur rôle et sont toujours utilisés. Les jauges de mémoire numérique sont populaires en ce moment, car les données peuvent être imprimées ou entrées directement dans un ordinateur pour une utilisation immédiate. Une bonne utilisation des données nécessite souvent une connaissance spécifique des particularités possibles de la jauge particulière utilisée dans un test. [14]

II.3.2. Pression de surface

La pression mesurée à ou près de la surface dans un puits. Cette mesure de pression est généralement effectuée en insérant une jauge dans la colonne de production juste en dessous de la vanne d'arrêt, et est également appelée pression de la tête de tube. [14]

II.3.3. Tests de puits de pompage

Test réalisé en mesurant la pression dans l' anneau ou en tirant sur la pompe et en faisant fonctionner un manomètre dans le trou. La méthode préférée consiste généralement à mesurer la pression dans l'anneau si aucun packer n'est présent. Pour ce faire, il est préférable de surveiller l'élévation du niveau de fluide avec un appareil de sondage et de calculer la pression de fond en supposant une densité de fluide. Plusieurs excellents appareils et services associés

sont disponibles. Chaque fois qu'un puits est fermé progressivement, comme c'est le cas pour les puits de pompage, une sorte d'analyse à plusieurs vitesses est généralement nécessaire pour obtenir des résultats acceptables. [14]

II.3.4. Graphique de pression DST

Le graphique caractéristique de la pression en fonction du temps obtenu à partir de l'enregistrement mécanique des manomètres dans un outil DST. La pression augmente lorsque l'outil est abaissé dans le trou et la tête hydrostatique au _ dessus de l'outil augmente. La pression se stabilise lorsque l'outil atteint le fond, puis se déplace lorsque le packer est réglé. La pression chute immédiatement lors de l'ouverture de la vanne de fond pour correspondre à la pression dans le train de tiges, puis augmente à mesure que le fluide s'écoule dans le train de tiges. Lorsque la vanne de fond de trou est fermée, la période de montée en pression commence immédiatement et se poursuit jusqu'à ce que la vanne soit à nouveau fermée. [14]

II.4. Soudage et autres procédures de construction de réservoirs de jaugeage

II.4.1. Exigences générales pour le soudage

Au cours de construction d'un réservoir de jaugeage, ainsi que lors de la fabrication, les méthodes utilisées sont de soudage à l'arc électrique.

II.1.1. Les procédés de soudage à l'arc

Le soudage à l'arc est un terme générique qui caractérise l'ensemble des procédés de soudage utilisant un arc électrique comme source de chaleur pour fondre et lier les matériaux métalliques. On retrouve dans cette famille quatre principaux procédés, qui se distinguent par des natures différentes d'électrodes (baguette ou fil fusible, électrode réfractaire) et par la nature du milieu protecteur vis-à-vis de l'atmosphère ambiante (laitier ou gaz). [19]

Soudage à l'électrode enrobée : L'électrode enrobée est formée d'une âme métallique constituant le métal d'apport, de composition généralement proche de celle des matériaux constituant les pièces à souder, entourée d'un enrobage, de nature différente selon la qualité de soudure recherchée (oxydant, acide, basique, cellulosique ou rutile). L'enrobage a pour but de faciliter l'amorçage de l'arc, d'empêcher le métal de la soudure de s'oxyder au contact de l'air ambiant en formant un laitier protecteur, et de stabiliser et guider l'arc grâce à un retard à la fusion par rapport à l'âme de l'électrode.

Soudage à l'arc submergé ou sous flux en poudre : Ce procédé utilise comme électrode un fil métallique fusible se déroulant de façon continue. Un flux en poudre est amené au niveau de

l'extrémité du fil électrode, et recouvre totalement l'arc électrique. Sous la chaleur de l'arc, le flux fond en partie et forme un laitier qui recouvre le cordon et le protège de l'oxydation.

Soudage à électrode de tungstène non fusible (Tungsten Inert Gas, TIG) : Dans ce procédé souvent utilisé dans la construction aéronautique, l'électrode, non fusible, est constituée d'un matériau réfractaire, généralement du tungstène pur ou thorie (allié à 1 ou 2 % de thorium), qui permet de maintenir un arc très stable. L'électrode est fixée au centre d'une torche de soudage dotée d'une arrivée annulaire de gaz inerte (argon ou hélium) protégeant la soudure de l'oxydation à haute température. Un métal d'apport peut être utilisé, sous la forme d'une tige métallique amenée manuellement ou automatiquement dans le bain fondu.[14]

Soudage sous flux gazeux avec électrode fusible (MIG/MAG) : L'arc est entretenu entre le métal à souder et un fil-électrode fusible entraîné automatiquement depuis un dévidoir, qui fournit le métal d'apport nécessaire à la réalisation de la soudure.

La zone chauffée est protégée par un gaz inerte canalisé par la buse de soudage (on parle alors de soudage MIG, Metal Inert Gas). Dans le cas des aciers, on peut aussi utiliser un gaz actif (on parle alors de soudage MAG, Metal Active Gas), généralement du CO₂ ou un mélange argon-CO₂, qui améliore la pénétration de la soudure. C'est une variante du procédé MIG que nous retiendrons pour réaliser les assemblages de cette étude.[19]

II.4.2.L'ordre de construction de réservoir de jaugeage

Une organisation correcte du travail et de l'ordre des opérations de soudage et d'assemblages est essentielle en raison des grandes dimensions des réservoirs et des longs joints de soudage. Une installation de cuve correctement réalisée permet de déduire au minimum la contrainte résiduelle, due au retrait des soudures, et d'éviter la déformation des tôles.

L'ordre de construction de réservoir est le suivant :[20]

1. Assemblage du fond
2. Montage mural
3. Assemblage et soudage de la charpente et du platelage
4. Installation des trappes et des tuyaux de dérivation
5. Hydro-test
6. Connexion de tuyau

II.5 Conclusion

Ce chapitre a été consacré à la présentation des concepts fondamentaux de bac de jaugeage. On a remarqué que la construction du réservoir se base sur les calculs théoriques tout en tenant compte du volet pratique, cependant le montage dépend de l'environnement sur le chantier qui aussi des qualifications des ouvriers et des contrôleurs.

Dans le chapitre suivant, nous allons étudier le renforcement externe appliqué sur le bac de jaugeage et son importance à l'aide des logiciels SolidWorks et Comsol.

Chapitre III

Résultats et Discussions

III.1 Introduction

Dans ce chapitre et après notre stage de terrain, nous avons effectué une visite de terrain dans la ville de Hassi Messaoud, où le fabricant des bacs de jaugeage a été étroitement identifié.

Dans un premier temps, nous présenterons cette entreprise (nom, adresse, emploi, caractéristiques, dimensionnement (5000 litres. Si on en fait la construction de bac), et dans un deuxième temps, nous étudierons une simulation numérique de différents bacs de jaugeage à l'aide du logiciel SolidWorks et COMSOL Multiphysics.

III.2 Présentation de l'entreprise :

L'entreprise Sarl LTPS (Sarl Legima Trading and petroleum Services) est située dans la ville de Hassi Messaoud, wilaya d'Ouargla. Elle est spécialisée dans la construction des bacs de jaugeage.

III.3 Fiche technique de bac:

L'entreprise présente les caractéristiques et dimensions suivantes :

Tableau III 1 : Caractéristiques de bac

Capacité	5000 litres
Nombre de compartiment	02(2*25m3)
Pression de service	Atmosphérique
T°C de service	0 °C à 100 °C
Longueur	8510mm (soit 4255mm pour chaque compartiment)
Largueur	2450 mm
Hauteur hors tout	2450 mm
Poids total avec Skid	8500 Kg

a) Construction :

Pour l'ensemble de bac en contact avec le produit en tôle d'acier S235JR selon norme EN10025 Fond et cotés du bac en tôle épaisseur 6 mm.

❖ S235JR selon norme EN10025 : C'est un acier non allié pour emplois structuraux.



Figure III.1 : Bac de jaugeage.

III.4 Etude de cas :

Notre travail est basé sur la simulation numérique d'un bac de jaugeage avec et sans renforcement interne en utilisant le code de calcul COMSOL Multiphysics: le but est de suivre les contraintes, les déformations et charges appliquées (forces et moments) sur le bac de jaugeage dans les deux cas renforcement interne de bac, et sans renforcement interne.

III.5Présentation des logiciels :**a) SolidWorks :**

Logiciel de dessin de conception (DAO/CAO) « Solidworks » La conception de la géométrie des plaquettes a été réalisée par une conception CAO sous le logiciel Solidworks version 2015 Figure III. 2, Par conséquent, nous donnons une vision générale sur le logiciel CAO/DAO «Solidworks»[22].

Définition du logiciel :

SOLIDWORKS® est un logiciel 3D Mécanique Conception Assistée par Ordinateur (MCAO) développé par SOLIDWORKS® Corporation des États-Unis. SOLIDWORKS® Corporation a été fondé en décembre 1993 par Jon Hirschtick. En juillet 1997, DASSAULT SYSTEM rachète la société qui est détentrice de la licence du produit et l'intègre dans l'univers DASSAULT. SOLIDWORKS® est un logiciel commercial largement utilisé dans la modélisation et dans la conception des systèmes mécaniques assistée par ordinateur [22].

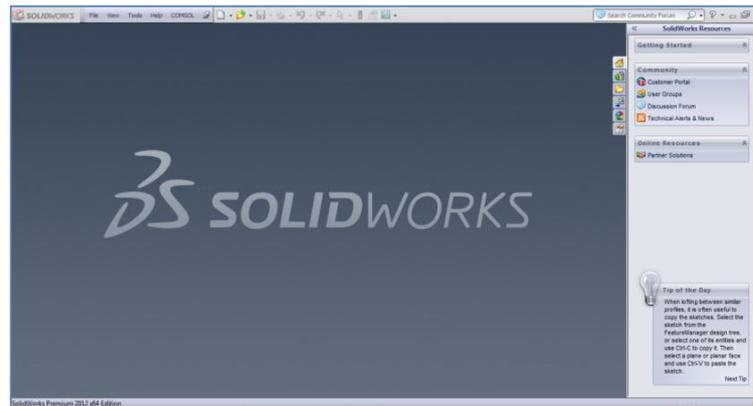


Figure III.2: l'interface du logiciel (SOLIDWORKS)

b) Comsol Multiphysics:

COMSOL Multiphysics Figure III.3, est un environnement simulation créée en 1986 par svanteLittmark et FarhadSaeidi à Stockholm en suède. C'est un logiciel basé sur la méthode des éléments finis (MEF –Méthode des éléments Finis) qui permet de simuler une variété importante de physiques telles que : la mécanique des fluides, le transfert thermique, la chimie, la mécanique des structures, etc... et leurs couplages, d'où l'appellation Multiphysics. C'est un outil très puissant disposant d'une interface bien pensée et conviviale prenant en charge les étapes de création de la géométrie, les maillages et les physiques utilisés dans notre modèle [23].



Figure III.3: Logo de Logiciel COMSOL [22]

III.6 Création d'un model sous COMSOL Multiphysics :

Le modèle de COMSOL Multiphysics en général basée sur les étapes suivant :

- a) Géométrie.
- b) Matériaux et Conditions aux limites (Physique).
- c) Choix des paramètres physiques.
- d) Maillage.
- e) Etude et résultats.

III.7 Etude de bac de jaugeage avec et sans renforcement sur logiciel de comsol

- a) **Géométrie** : Composant (bac de jaugeage avec et sans renforcement interne) : Dans cette première étape on dessine cette géométrie sur programme de Solid Works et importer la géométrie sur notre programme de comsol Multiphysique comme montre la figure III.4 qui représente les différents types de bac (avec et sans renforcement).

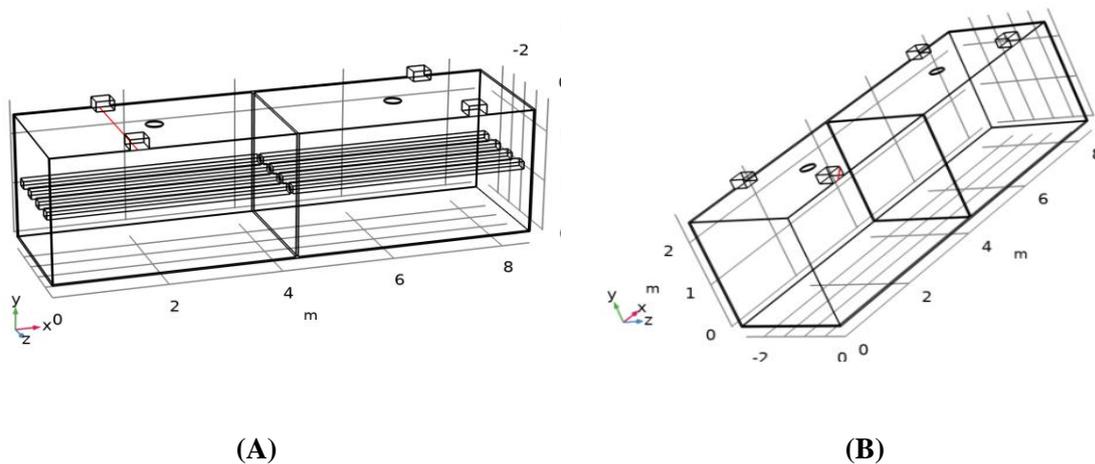


Figure III.4 : Bac de jaugeage (A) avec renforcement interne et (B) sans renforcement.

- b) **Matériaux et conditions aux limites (physique)**

D'après les caractéristiques géométriques de bac dans la fiche technique de bac, le system doit être lire comme le tableau III.1 suivant :

Tableau III.2 : Les caractéristiques générales du bac.

Nome	Valeur	Unité
Module de YOUNG	$2.1 \cdot 10^{11} [\text{N/m}^2]$	Pa
Densité	$7.8 [\text{g/cm}^3]$	kg/m^3
Coefficient de poisson	0.23	1

c) **Choix des paramètres physiques** : Cette étape est très importante pour définir notre problème et comment appliquer les conditions aux limites.

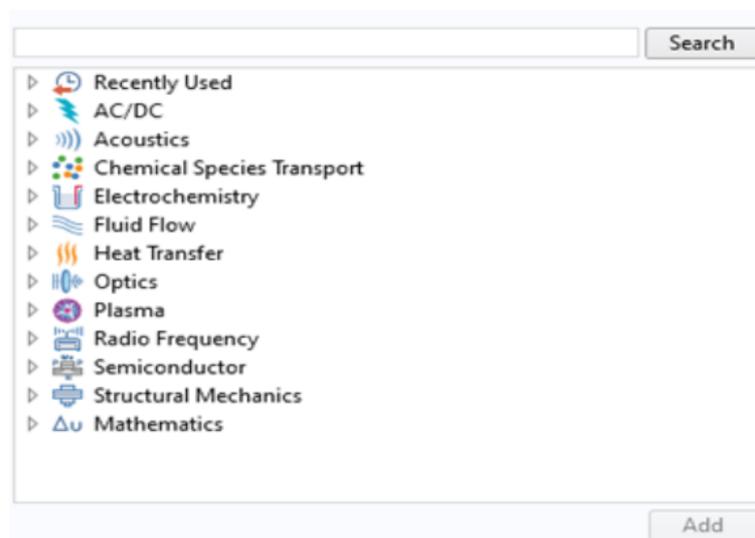


Figure III.5 : Les Différent Paramètre Physiques (comment le choisir)

La figure III.5 illustre les différents paramètres physiques, d’après cette liste des paramètres on choisit les paramètres de mécanique des structures.

Après avoir sélectionné l’étude, la fenêtre principale de modélisation sous COMSOL Multiphysics s’affiche on trouve la figure III.4.

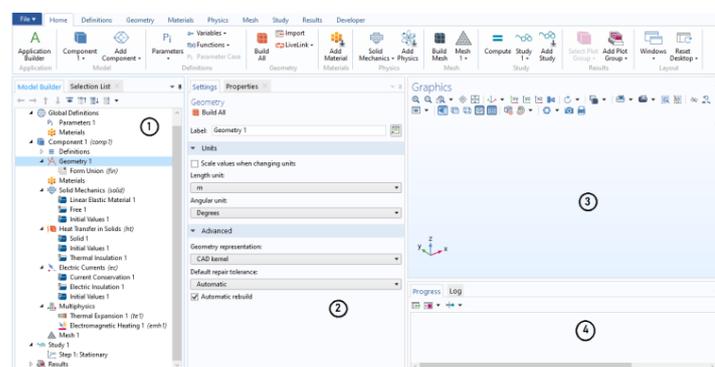


Figure III.6: Espace de travail de comsol Multiphysique

La figure III.6 illustre :

1. Constructeur de modèle : Regroupe tous les paramètres et tous les étapes de notre modèle.
2. Paramètre : Permettant d'afficher les propriétés de chaque étape présente.
3. Graph : Il permet de visualiser la géométrie, le maillage, les résultats de nos simulations...etc.
4. Progress and log : Cette interface est comme une boîte de dialogue. Elle permet d'afficher les messages d'erreur, la progression des simulations, les opérations et les résultats numériques calculés.

d) **Maillage** : L'étape de maillage est faite pour résoudre les problèmes posés en utilisant la méthode des éléments finis, c'est à dire discrétiser un système continu. Le principe de cette discrétisation consiste à découper une structure en morceaux (mailles) pour chercher une solution aux problèmes liés à chaque maille. COMSOL Multiphysics propose plusieurs types de maillages prédéfinis. Dans notre application sur le bac de jaugeage illustré dans Figure III.7, nous avons opté pour un maillage géré par la physique, c.-à-d. un maillage géré par le logiciel en fonction des paramètres que nous avons définis préalablement.

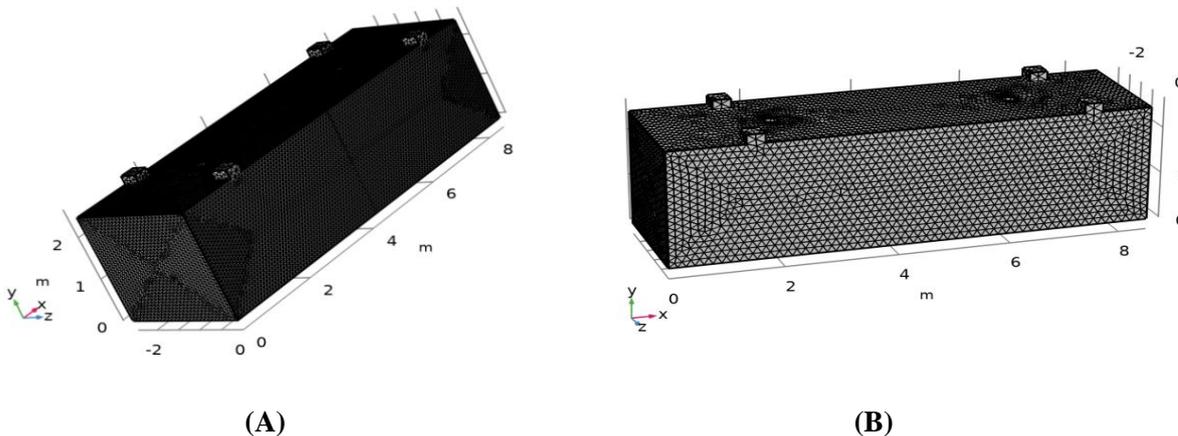


Figure III.7 : Maillage des différents bac (avec et sans renforcement)

e) **Etude et résultats** : On lance la simulation en cliquant sur ETUDE dans le Constructeur de modèle puis sur CALCULE. Notre system s'en charge pour choisir les bons paramètres du solveur en fonction des modèles physiques choisis. Nous pouvons afficher les résultats soit en forme de courbes ou bien sous forme de couleur.

❖ COMSOL s'en chargera aussi de calculer tous les résultats concernant la ou les physiques utilisées sur le modèle, il suffit juste de tracer le profil de résultat qu'on veut afficher :

- 1D plot group : pour afficher les courbes on dessiner des lignes des points : point 01 (1.5 ;2.45 ; 0) et point 02 (1.5 ;2.45 ; -1.225) sur le bac.

- 2D plot group : pour afficher les courbes on dessiner des lignes des points : point 01 (1.5 ;0 ; 0) et point 02 (1.5 ; 2.8 ; 0) sur le bac.

III.8 Résultats de simulation pour les deux types de bac :

Dans cette étape, nous allons présenter les résultats obtenus en simulation sous Comsol Multiphasiques. Illustré sur la figure III.8

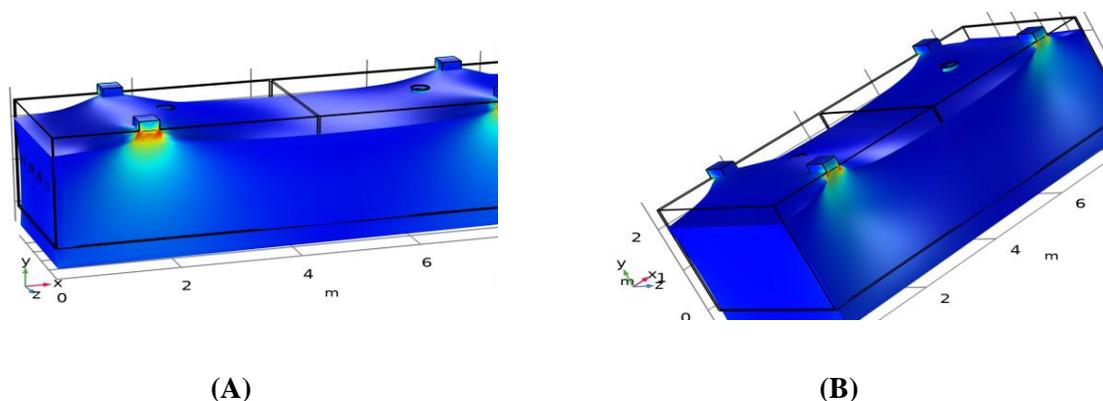


Figure III.8 : Représentation des résultats de simulation appliquant des forces normales sur les deux types de renforcement de bac (A) avec renforcement et (B) sans renforcement

La figure III.9 représente les déformations du bac en fonction des contraintes maximales appliquées sur le bac avec des conditions aux limites des charges normales et des forces de moment sur les deux types de renforcement de bac qui sont représentés sur la figure III.9, dans le cas statique.

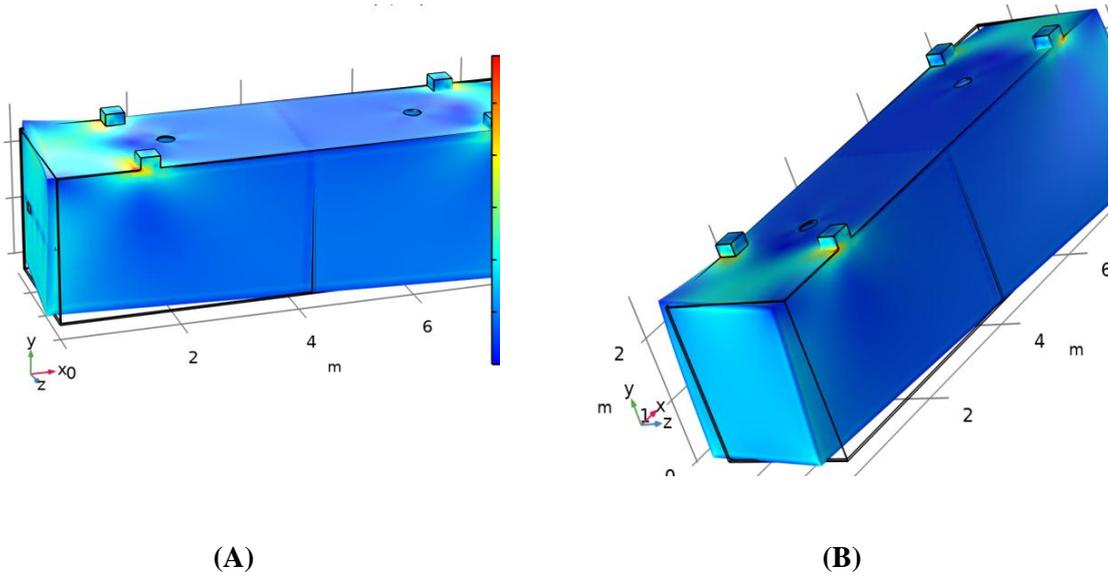


Figure III.9 : Représentation des résultats de simulation pour des forces et des moments appliquer sur les deux types de renforcement de bac (A) avec renforcement et (B) sans renforcement

Après avoir les déformations latéraux et horizontaux appliquer sur le bac pour des déformations pures de bac les valeurs de la force doit être environ de $F=7.85 \cdot 10^7(N)$ pour renforcement et de $F= 8.85 \cdot 10^7(N)$ de bac sans renforcement qui représente sur la figure III.10.

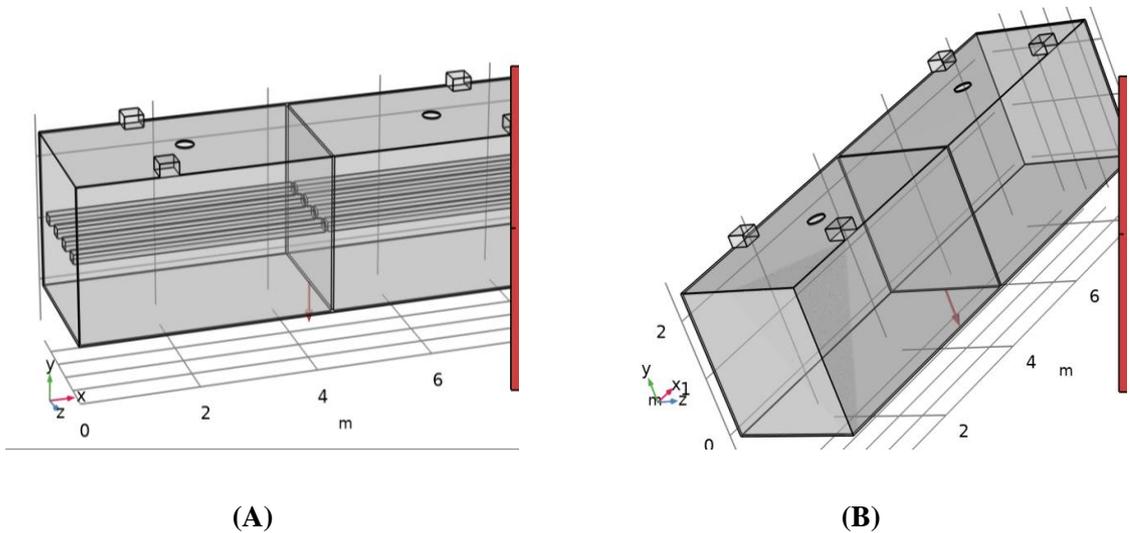


Figure III.10 : Maximum force appliquée sur le bac (A) avec renforcement et (B) sans renforcement interne

III.9 Etude de bac de jaugeage général avec skid sur logiciel de comsol

a) **Géométrie** : Composant (bac de jaugeage avec skid) : Dans cette première étape on dessine cette géométrie sur programme de Solid Works et importer la géométrie sur notre programme de comsolMultiphysique comme montre la figure III.11 qui représente le skid de bac (avec renforcement et sans renforcement).

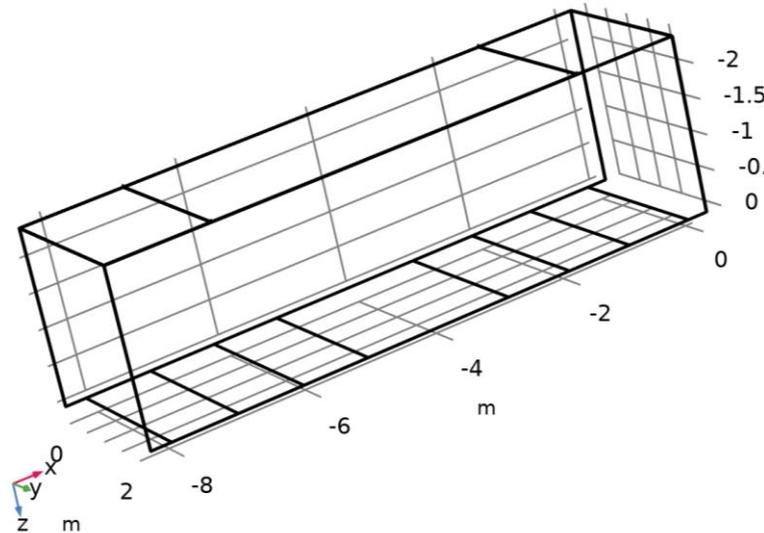


Figure III.11 : Skid de bac de jaugeage.

- b) **Matériaux et conditions aux limites (physique)** : D'après les caractéristiques géométriques de bac dans la fiche technique de bac, le system doit être lire comme le tableau III.1.
- c) **Maillage** : L'étape de maillage est faite pour résoudre les problèmes posés en utilisant la méthode des éléments finis, c'est à dire discrétiser un système continu. COMSOL Multiphysics propose plusieurs types de maillages prédéfinis. Dans notre application sur skid illustré dans Figure III.12, nous avons opté pour un maillage géré par la physique, c.-à-d. un maillage géré par le logiciel en fonction des paramètres que nous avons définis préalablement.
- ❖ COMSOL s'en chargera aussi de calculer tous les résultats concernant la ou les physiques utilisées sur le modèle, il suffit juste de tracer le profil de résultat qu'on veut afficher :
 - 1D plot group : pour afficher les courbes on dessine des lignes des points : point 01 (1.5 ;2.45 ; 0) et point 02 (1.5 ;2.45 ; -1.225) sur le skid.

- 2D plot group : pour afficher les courbes on dessiner des lignes des points : point 01 (1.5 ; 0 ; 0) et point 02 (1.5 ; 2.8 ; 0) sur le skid.

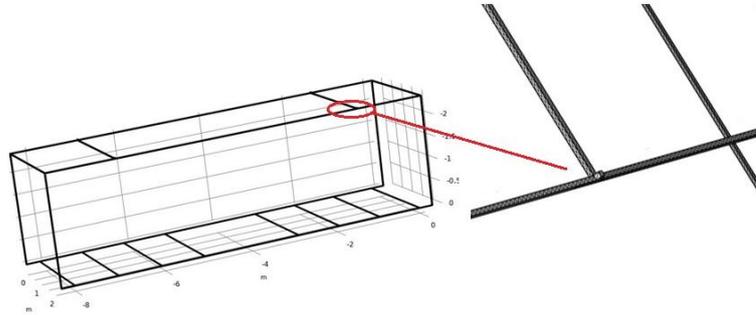


Figure III.12 : Maillage skid de bac de jaugeage.

d) Etude et résultats : On lance la simulation en cliquant sur ETUDE dans le Constructeur de modèle puis sur CALCULE (comme les calculs précédents de bac).

III.10 Résultats de simulation pour le skid :

Dans cette étape, nous allons présenter les résultats obtenus en simulation sous Comsol Multiphasiques. Illustré sur la figure III.13

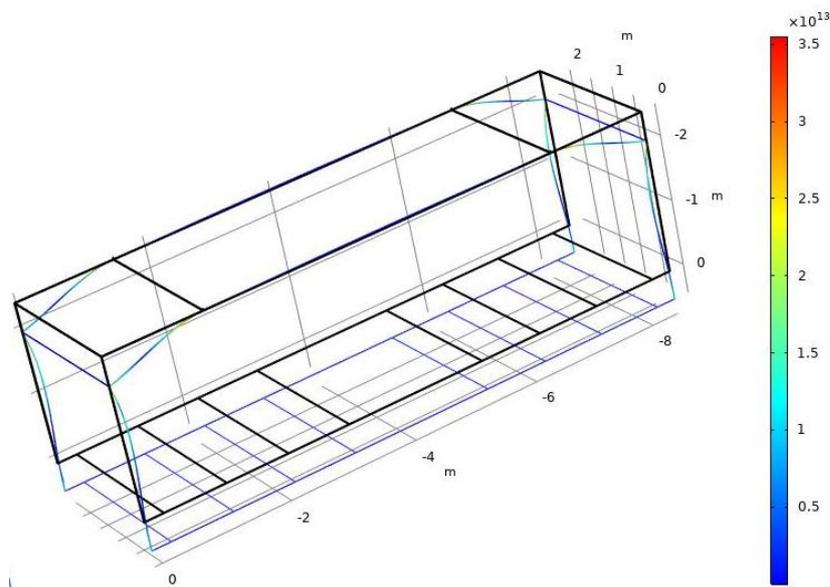


Figure III.13 : Représentation des résultats de simulation des forces normales appliquées sur le skid

Cette figure III.13 représente les déformations du skid en fonction des contraintes maximales appliquées sur le bac avec des conditions aux limites des charges normales et des forces de moment sur les faces du bac sur le skid qui sont représentées sur la figure, dans le cas statique.

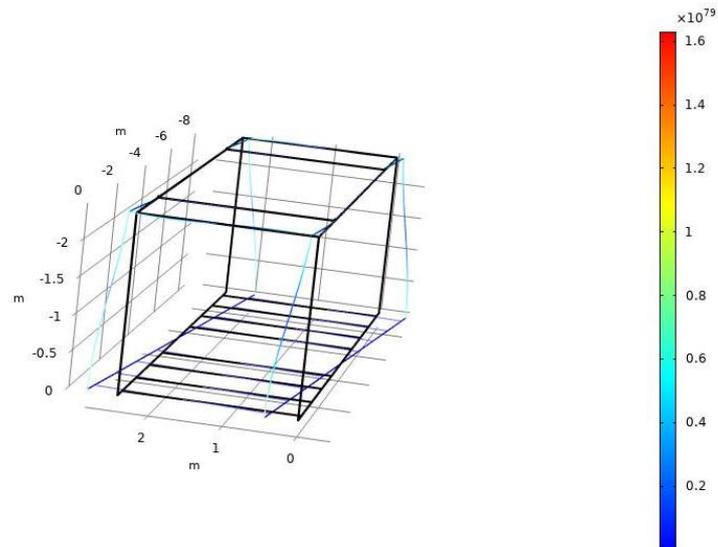


Figure III.14 : Représentation des résultats de simulation pour des forces et des moments appliquer sur le skid

Après avoir les déformations latéraux et horizontaux appliqué sur le skid pour des déformations pures ; les valeurs de la force doivent être environ de $F=8.34 \times 10^7$ (N) qui représente sur la figure III.15.

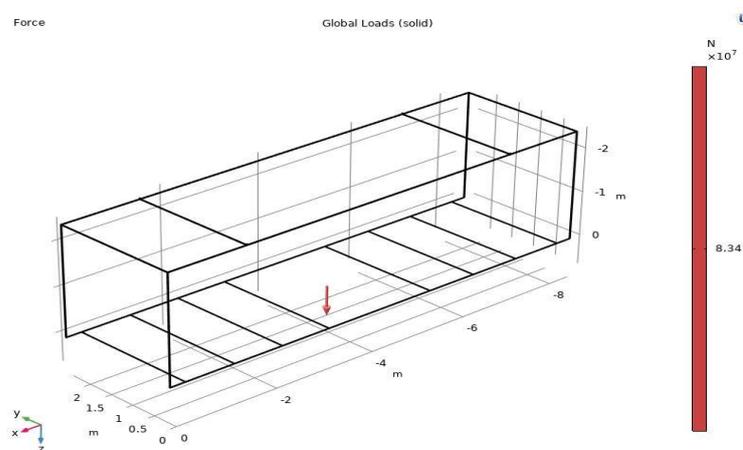


Figure III.15 : Maximum force appliquée sur le skid

III.11 Discussions des résultats obtenus par la simulation

a. Pour les deux types de bac :

L'influence des charges et des moments appliqués sur le bac de jaugeage avec et sans renforcement interne est illustrée dans les graphes de les figure III.16, figure III.17, figure III.18 et la figure III.19.

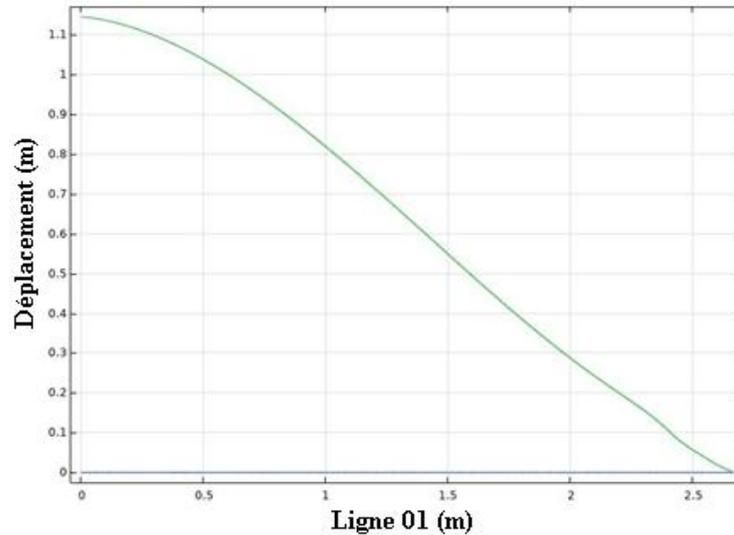


Figure III.16 : Etude de déplacement (déformation) en fonction de la ligne de coupe 01 sur bac avec renforcement interne

La variation de la distance en fonction la ligne de coupe dans la Figure III.16 est décroissante pour des valeurs de distance maximale de 1.1 m avec une force appliquée de 784 MPa ; la ligne de coupe 01 est des coordonnées de (1.5 ; 2.8 ; 0). Car le bac viendra renforcer interne est les forces appliqués dans les deux sens.

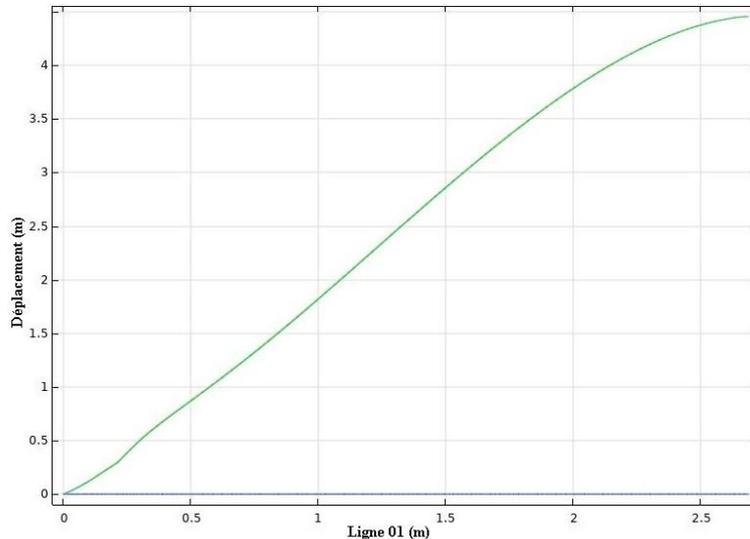


Figure III.17: Etude de déplacement(déformation) en fonction de la ligne de coupe 01 sur bac sans renforcement interne

Par contre la variation de la distance en fonction de la ligne de coupe 01 dans Figure III.17 est croissante pour des valeurs de distance maximale de 4 m et plus, avec une force appliquée de 784 MPa ; la ligne de coupe 01 est des coordonnées de (1.5 ; 2.8 ; 0). Car le bac viendra sans renforcement interne avec les forces appliquées dans les deux sens.

- ❖ Dans des différentes conditions aux limites à des applications des moments et des forces normales dans les deux sens (positive et négative) comme montre les graphes Figure III.18 et Figure III.19.

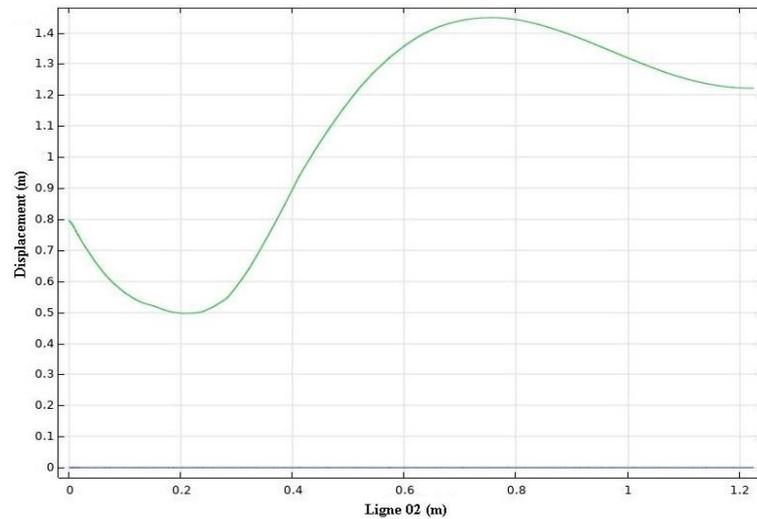


Figure III.18: Étude de déplacement (déformation) en fonction de la ligne de coupe 02 sur bac avec renforcement interne

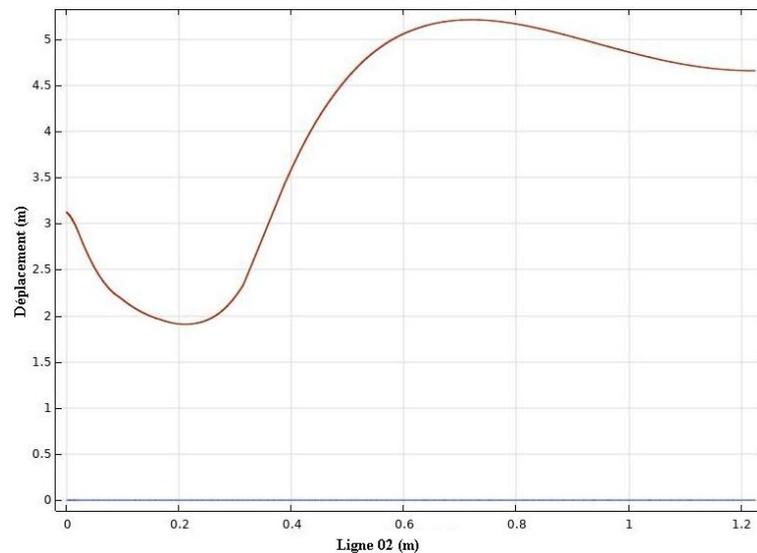


Figure III.19: Étude de déplacement (déformation) en fonction de la ligne de coupe 02 sur bac sans renforcement interne

Du fait que la déformation du bac à partir de la ligne de coupe 02, dans la figure III.18 la distance devient au minimum valeur avec diminution de la distance jusqu'à 0,5 m, par contre et en s'éloignant de la zone d'articulation la déformation viendra de 1,4 m (valeur maximale) ; par contre dans la Figure III.19 la distance viendra environ de 2 m jusqu'à 5m. C'est-à-dire la

combinaison entre l'application du moment et des forces normales à une grande variété sur la déformation du bac avec et sans renforcement interne.

b. Pour le skid :

Après avoir les charges appliquées sur le bac ; le skid est aussi à des charge plus élevées que le bac (avec et sans renforcement interne). L'influence de ces charges dans le skid est basé sur les articulations de l'élévation de skid (Figure III.12), ces charges sont illustrées dans le graphe de la figure III.20.

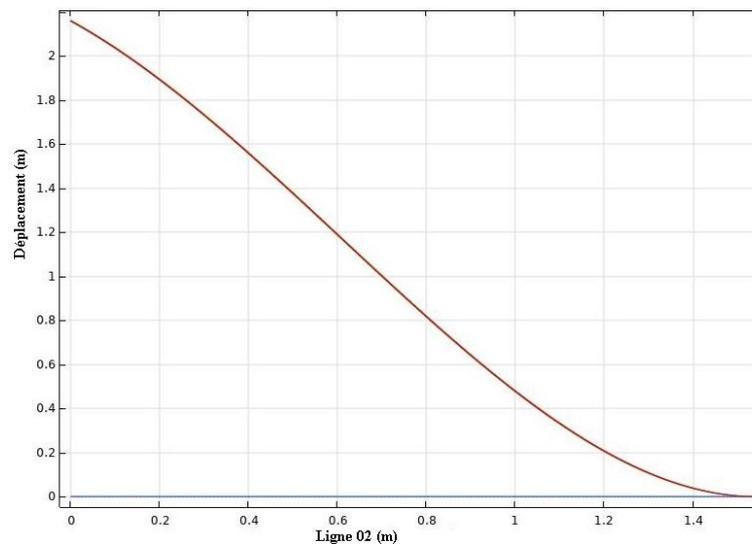


Figure III.20 : Etude de déplacement (déformation) en fonction de la ligne de coupe 02 sur le skid (Application des forces et des moments).

D'après les résultats les Figure III.13 et Figure III.14 et à partir l'effet de combinaison entre l'application des moments et des forces normales est appliquée sur le bac Figure III.18 et Figure III.19, le skid est une meilleure solution pour éviter la déformation de bac ; par contre dans ce cas ces forces appliquées directement sur le skid est environ de 833MPa. Les déplacements dans ce cas restent nuls puis que les forces normales est perpendiculaire à la ligne de coupe avec petit changement sur les moments.

III.12 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons effectué des simulations de notre bac afin de déterminer les contraintes maximales et les déformations dans des différents types de renforcement interne de

bac en fonction des forces normales et des moments appliqués à partir des conditions aux limites.

Selon les résultats obtenus ; la contrainte de bac avec et sans renforcement interne joue un rôle important pour estimer le déplacement (déformation) de bac, le skid est meilleur solution pour renforcé le bac quelque soi les charges appliquées.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Le réservoir de jauge, est un récipient non pressurisé utilisé pour mesurer les faibles débits ou pour calibrer les dispositifs de mesure sur les conduites d'huile du séparateur dans un système d'essai. Le stockage des ressources énergétiques est non seulement nécessaire pour compenser les fluctuations d'approvisionnement dues à toutes sortes d'aléas lors de la production, du transport et du raffinage, ou les variations de la consommation, qui dépendent notamment des conditions météorologiques.

Les logiciels Comsol Multiphysics et le SolidWorks ainsi que son fonctionnement ont ensuite été détaillées. Nous avons commencé par présenter le logiciel et ses outils avant de donner les étapes à suivre pour une modélisation d'une physique « semi-conducteur » sur ce dernier. Ceci nous a permis de mieux préparer la dernière partie de notre travail.

Dans ce travail, nous avons visé par simulation numérique sur logiciel Comsol Multiphysics, les déformations et les contraintes appliquées sur ce type de bac ; ce travail a permis de conclure que :

- Selon les résultats obtenus ; la contrainte de bac avec et sans renforcement interne joue un rôle important pour estimer le déplacement (déformation) de bac.
- Les valeurs maximales des déformations et contraintes obtenues pour des valeurs maximales des forces et des moments appliqués sur le bac.
- Le renforcement interne de bac est facteur principale pour diminuer ces contraintes et des charges appliquées sur le d bac.
- Le skid est meilleur solution pour renforcé le bac quelque soi les charges appliquées, les contraintes ...etc.
- La simulation numérique par logiciel de Comsol Multiphysics est plus fiable pour l'application de notre modèle pourrait être une méthode économique et efficace pour prédire les contraintes et les déformations à partir de la fiche technique de bac.

Bibliographie

[1]. Département Génie des Transports U.M.Constantine Technologie des parcs de stockage Master 1 TDH S2 (2019-2020) et terminaux.

[2].Chapitre 3 Stockage des Hydrocarbures M1TDH M. KARDACHE & A. LOUNIS, Stockage des hydrocarbures, 1 ère Partie, Département Mécanique Pétrolière et Transport des HC, Ecole d'Arzew, IAP, février 2015 I.KARA , PFE Master TDH-DpT G.Transports, Université constantine1,2016-2017.

[3]. benchmark-viellissement-stockage-raffinerie-web, RAPPORT D'ÉTUDE 29 / 04 / 2010 N° DRA-09-102957-08289B, 29 / 04 / 2010

[4].Dr AKE, cours de stockage, distribution et transport des hydrocarbures (STDH).[en ligne]. [consulté le 26 janvier 2017]. Disponible à l'adresse :<http://fr.slideshare.net/leroiani/cours-de-stockage-distribution-et-transport-des-hydrocarbures>

[5]. Régis CHAMAYOU , Réservoirs métalliques : stockage des liquides. Généralités

[6].MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DE LICENCE INTITULE Présenté par : TASINKOU NEGOUE GAEL BRICE sur :LE TRANSPORT ET STOCKAGE DES HYDROCARBURES

[7]. Guide to Storage Tanks and Equipment by Bob Long, Bob Gardner (z-lib.org)

[8],[9].Technique de l'ingénieur édition 2008 l'article [BM6590]et l'article

[BM6592].

[10]. Ghers Nadir , Approche fiabiliste dans la vérification du dimensionnement de réservoir de stockage.

[11]. guide-guide-de-l'ingénieur-sur-le-téléjaugeage-fr-fr-4230452, EDITION 2017

[12].Tank gauging by Dick Bush Field Products Sales & Manager, ABB Kent- Taylor Ltd, St. Neots, Cambs

[13]. 20Tanks schlumberger

[14]. www.slb.com

[15]. Réservoir de jauge de surface - Himech Equipments pvt. ltd._files

[16]. Atmospheric Gauge Tank product sheet , www.slb.com

[17]. Norme API 650.

[18]. Enraf , For safety and precision,Art of Tank Gauging

[19]. Bachir Mezrag. Étude de l'influence des paramètres de soudage sur la microstructure et le comportement mécanique des assemblages acier-aluminium obtenu par soudage à l'arc MIG-CMT. Génie mécanique [physics.class-ph]. Université Montpellier ; Université Abou Bekr Belkaid (Tlemcen, Algérie), 2015. Français. NNT : 2015MONT275

[20]. <https://reservoir-silo.fr/construction/reservoirs-de-stockage/>

[21]. http://www.sunrypetro.com/gauge_tank.html

[22]. Abdelkrim Mourad,Thèse doctorat, Détermination de la densité de chaleur à l'interface pièce outil Application au tournage

[23]

Résumé

Nous nous intéressons dans ce travail à l'étude d'un bac de jaugeage avec renforcement interne destiné au stockage des hydrocarbures. Après avoir présenté les différents types de réservoirs de stockage, leurs caractéristiques, les lieux et modes de stockage, nous procédons à la description des bacs de jaugeage. Enfin nous effectuons une simulation, sous Solidworks et COMSOL Multiphysics, du renforcement interne d'un bac de jaugeage afin de déterminer les contraintes maximales et les déformations dans les différents types de renforcement interne.

Mots clés : bac de stockage, bac de jaugeage, réservoir, hydrocarbures, simulation, renforcement interne.

Abstract

In this work, we are interested in the study of a gauging tank with internal reinforcement intended for the storage of hydrocarbons. After presenting the different types of storage tanks, their characteristics, storage locations and methods, we proceed to the description of the gauging tanks. Finally we perform a simulation, under Solidworks and COMSOL Multiphysics, of the internal reinforcement of a gauging tank in order to determine the maximum stresses and strains in the different types of reinforcement.

Key words: storage tank, gauging tank, reservoir, hydrocarbons, simulation, internal reinforcement.

الملخص

في هذا العمل، نحن مهتمون بدراسة خزان القياس مع التعزيز الداخلي المخصص لتخزين المحروقات. بعد تقديم الأنواع المختلفة من صهاريج التخزين وخصائصها وأماكن التخزين وطرقها، ننتقل إلى وصفها، للتعزيز صهاريج القياس. أخيرًا نجري محاكاة، في إطار COMSOL Multiphysics و Solid works الداخلي لخزان القياس من أجل تحديد الاجهاد الأقصى والتشوه في جميع أنواع التعزيز الداخلي.

الكلمات المفتاحية: صهريج التخزين، خزان القياس، خزان، محروقات، محاكاة، تعزيز داخلي.